

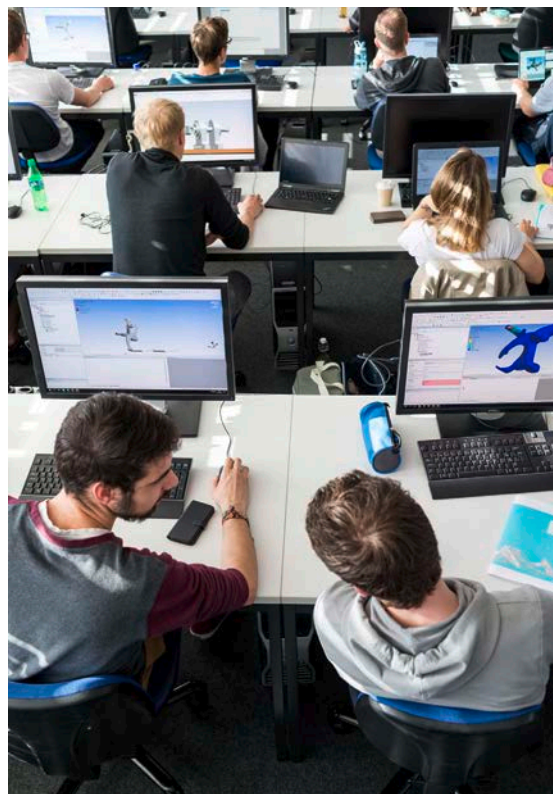
Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur

Bachelor-Theses 2020

Institut für
Maschinen- und
Energietechnik



Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser

Im Verlauf des Frühlingsemesters 2020 hat sich die Welt, so wie wir sie bis dahin gekannt haben, dramatisch und nachhaltig verändert. Die Corona-Pandemie beeinflusst seit ihrem Auftreten in ungeahnter Form unseren Alltag in allen Lebensbereichen. Es freut mich deshalb umso mehr, Ihnen in dieser Broschüre die Kurzfassungen der Bachelor-Theses 2020 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 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 Lösungen 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
Arnold Adrian	Selbstnivellierender Boden	7
Asaro Fabio	Unterdrückung von Instabilitäten an einer Pumpturbine mit Fluid-Injektion	8
Bee Romeo	Optimierung der Strahlausrichtung mit Hilfe von Temperatursensoren	9
Berisha Patrik	Messung der Glühtemperatur in Heizelementen	10
Beutler Roland	Linearantriebskonzept für Kugelschieberventil	11
Binggeli Thomas	Requirement Engineering GAP-Analyse	12
Binkert Christoph	Erarbeitung des Engineering Workflows zur Herstellung von metallischen AM-Bauteilen	13
Bucher Ludwig	Entwicklung eines hydraulischen Antriebskonzeptes	14
Cortez Manuel	Analyse und Weiterentwicklung einer Markiermaschine für Stahlknüppel	15
Degen Marco	Pressure and Temperature Sensor Calibration Module «PTCM»	16
Durrer Robin	Mobile Roboterplattform für den Aussenbereich	17
Durrer Samuel	Entwicklung eines 3D-Druckers mit mehreren Düsen	18
Frey Kevin	Potenzialstudie zur Topologieoptimierung bei Peltonbechern	19
Gerig Simon	Möglichkeiten und Limitation von hybrid hergestellten hochbelasteten Bauteilen	20
Gisler Joel	Energie-Optimierung mittels Pinch-Analyse	21
Gloor Nicolas	Untersuchungen an einem neuen Messflügel-Design	22
Guntern Victor	Strukturoptimierung eines Butterfly-Pfannendrehturms mittels Topologieanalyse	23
Hehnen Larissa	Experimentelle Validierung der α -Wert Formel zur Berechnung von Wärmeübertragerkennlinien	24
Hochuli Adina	Untersuchung von Massnahmen zur Effizienzsteigerung von Kälteanlagen mit Turboverdichter	25
Holdener Manuel	Tanksystem-Regelung für einen Laborversuch	26
Huwiler Patrick	Teilautomatisierung der Montage von Photometer zur Erhöhung der Produktivität	27
Jenni Dario	Versenkbares Dachgeländer für die Wartung von Photovoltaikanlagen	28

Diplomand	Thema	Seite
Kempf Markus	Entwicklung eines Robotergreifers für die automatische Leiterplattenbestückung	29
Kilchenmann Matthias	Erstellen eines «Digital Twins» der Lernfabrik 4.0	30
Kipfer Tobias	Topologieoptimierung mittels dichtebasierter Adjoint Methode	31
Krabben Yannik	Thermische Auslegung eines neuartigen 3D-Druckkopfes für die additive Fertigung	32
Kron Lukas	Untersuchung der Seewasser-Wärmenutzung des Bezirkes Küssnacht	33
Langenegger Florin	Optische Qualitätsprüfung in der EC-Motorproduktion	34
Lötscher Richard	Echtzeitpositionsbestimmung in der Ebene zur Regelung eines autonomen Markiersystems	35
Lovrinovic Marko	Modulares Komplettwerkzeuglager mit Reinigungsstation	36
Luggen Jonas	Analyse und Optimierung Fernwärmenetz Visp	37
Lustenberger Christof	Inbetriebnahme einer Belastungseinheit für Hydrauliksysteme bei Traktoren	38
Martig Kai	Thermische Charakterisierung eines Festbett-Latentwärmespeichers mit makroverkapseltem Phasenwechselmaterial	39
May Roberto	Optimierung des Abluft- und Abscheidungssystems einer Kaffee-Röstmaschine	40
Melchior Deia	Entwicklung einer Schocktestanlage	41
Merkli David	KR-Curve Determination and Verification	42
Mignoli Severin	Entwicklung einer Staubkammer für Aktuatorentests	43
Momcilov Bojan	Montage- und Wartungskran für den Gletschergarten Luzern	44
Mühlemann Sven	Bestimmung des Reibungskoeffizienten von Kunststoffen	45
Müller Sandro	Mobiler Dachbefestigungspunkt	46
Murer Nicolas	Digitaler Zwilling eines Pumpenprüfstandes	47
Niederberger Christoph	Dosiervorrichtung für den Crêpe Roboter	48
Niederberger Lukas	Konzept und Optimierung der Geländetauglichkeit für autonomen Roboter	49
Niggli Silvio	Evaluation von Umkehrosmose zur Wassergewinnung aus der Atmosphäre	50

Inhaltsverzeichnis

Diplomand	Thema	Seite
Pomphile Guillermo	Thermal Treatment of Highly Concentrated Landfill Leachate	51
Portmann Claude	Untersuchung der Kühlung in einem Spritzgusskern	52
Rölli Sergio	Detaillierte Messungen am neuen Pumpenprüfstand im Hydro-Labor	53
Roth Lukas	Durchflussregulierung für Photometer	54
Schmitter Simon	Redesign der Helmbox für Veloparkplatz	55
Schön Martin	Folding Propeller Design Concept	56
Schönbächler Pascal	Effizienzsteigerung automatischer Holzheizungen	57
Schöni Marco	Universalwerkstückträger für Laserschweissanlage	58
Sidler Janick	Konzept eines Windgenerators für den Mars	59
Spichtig Adrian	Dimensionierung und Zertifizierung eines mobilen Dachbefestigungspunktes für die persönliche Sicherung gegen Absturz	60
Steiner Ivo	Strömungsoptimierung von Trocknungskammern	61
Togan Johannes	Aufbau und Inbetriebnahme eines inversen, hydraulischen Pendels	62
Usul Muarem	Weiterentwicklung des MidiCoater für Kanalreinigungen	63
Zehnder Janick	Ölfederung für Mountainbikes	64
Zraggen Patrick	Konzept und Optimierung Schneideeinheit für autonomen Roboter	65
Zihlmann Lena	Aufbau eines Prototypen für Demonstrator «Inchworm»	66
Zingg Maurice	Analyse und Simulation von Schwingungen bei Pumpturbinen	67
Zosso Maximilian	Entwicklung eines Untergestelles für einen Zahnarztstuhl	68



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Adrian Arnold
Dipl. Ing. ETH Marco De Angelis
NyDee GmbH
Dr. Giovanni Mastrogiacomo
Produktentwicklung & Mechatronik

Selbstnivellierender Boden

Ausgangslage

Die Firma NyDee GmbH benötigt für ein Produkt eine modular zusammenstellbare, begehbare Bodenfläche. Die Bodenfläche soll eine hohe Planheit aufweisen und mit geringem Aufwand montierbar bzw. demontierbar sein. Es kann davon ausgegangen werden, dass die ebene Fläche ca. 250 m² beträgt und eine Planheit von ± 1 mm erreicht werden soll. Um die Logistik zu vereinfachen, soll das Flächengewicht des Systems minimiert werden. Eine erste vom Auftraggeber vorgeschlagene Lösung soll kritisch analysiert werden. Zudem sind alternative Lösungsvarianten zu entwickeln, wobei die bestmögliche Variante detailliert ausgestaltet und konstruiert werden soll.

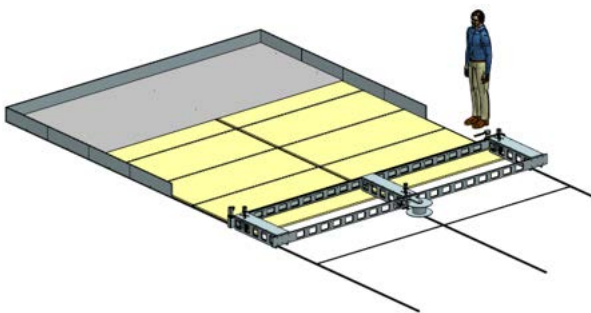


Abb. 1: Übersicht der Konstruktion (Herstellung der ebenen Bodenfläche)

Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde eine Ideensammlung möglicher Varianten durchgeführt. Es wurde entschieden, dass der ebene Boden mit einem Bearbeitungswagen (Abb. 1) erzeugt wird. Dabei wird zuerst eine Kunststoffolie auf den noch «unebenen» Untergrund gelegt. Danach werden U-Profile verlegt, welche als Schienenführung für den Bearbeitungswagen genutzt werden. Auf die Kunststoffolie wird in einem nächsten Schritt flüssiger Polyurethan-Schaum vergossen. Der PU-Schaum nimmt die Flächenlasten während dem Betrieb auf. Der wesentliche Vorteil von diesem Material ist die hohe Druckfestigkeit bei geringer Dichte. Dabei wird das Flächengewicht der Konstruktion wesentlich reduziert. Während der Schaum erstarrt, dehnt sich dieser unregelmässig aus. Daraus resultiert eine unebene Grundfläche, welche anschliessend mit dem Bearbeitungswagen plangefräst wird. Bei diesem Vorgang richtet sich der Wagen durch ein neu entwickeltes Sensorsystem autonom horizontal aus. Der stets plan ausgerichtete Wagen überfräst den PU-Schaum mit einem

Schaumstofffräser und es resultiert eine ebene Fläche. Um die Druckkräfte besser auf den Untergrund zu verteilen werden anschliessend Kunststoffplatten aus PVC auf den Schaum verlegt. Abschliessend werden die Rück- und Seitenwände montiert. Um die Selbstnivellierung des Sensorsystems zu testen wurde ein Referenzmodul (Abb. 2) entwickelt und hergestellt.

Ergebnis

Fast alle Anforderungen konnten bei der Verifizierung bzw. Validierung als Erfüllt gekennzeichnet werden. Die wesentlichste Anforderung, welche nicht erfüllt wurde, ist das Gewicht. Die gesamte Konstruktion soll ein maximales Gewicht von 1000 kg nicht überschreiten. Erste Abschätzungen zeigen aber, dass das Gewicht bei ca. 2100 kg liegen wird. Eine wesentliche Gewichtsreduktion könnte bei den Deckplatten, welche zusammen rund 1050 kg wiegen, vorgenommen werden. Zudem ist der Bearbeitungswagen (ca. 250 kg) momentan noch zu schwer und dadurch unhandlich in der Anwendung.

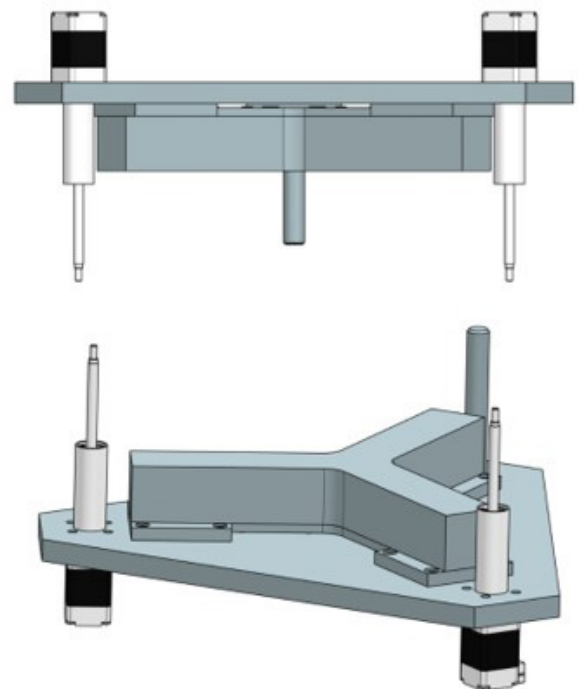


Abb. 2: Referenzmodul



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Fabio Asaro
Prof. Dr. Sabri Deniz
Andritz Hydro AG
Dr. Joel Schlienger
Energien, Fluide und Prozesse**

Unterdrückung von Instabilitäten an einer Pumpturbine mit Fluid-Injektion

Ausgangslage

Das heutige Stromnetz ist ein komplexes System. Durch die Zunahme an erneuerbaren Energien wird die Komplexität weiter ansteigen. Dies liegt daran, dass erneuerbare Energien wie Solar- und Windenergie wetterabhängig sind und daher das Stromnetz stark fluktuiert. Dank den Pumpspeicherkraftwerken kann das Netz geglättet werden. Ein Pumpspeicherkraftwerk kann somit als Regler für das Netz betrachtet werden. Als Folge der zunehmenden Fluktuation des Netzes wird auch die Häufigkeit des Wechsels von Turbinen- zu Pumpbetrieb und umgekehrt ansteigen. Diese Wechsel sollten möglichst schnell erfolgen können. Dies ist aber nicht immer einfach, weil der Betriebswechsel fluiddynamische Probleme mit sich bringt. Vor allem das Auftreten von Instabilitäten ist kritisch. Deshalb ist es von praktischer Bedeutung, Zustände in diesem Bereich genauer zu analysieren, zu verstehen und zu optimieren.

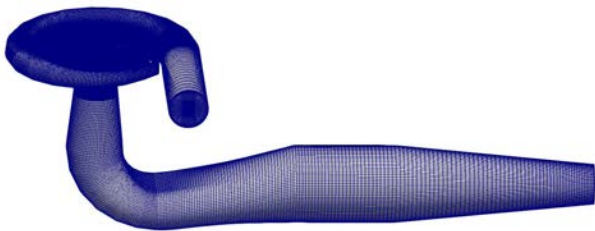


Abb. 1: CFD-Vernetzung der gesamten Modell-Pumpturbine

Vorgehen

Um die Instabilitäten im Turbinenbetrieb zu unterdrücken, spritzt man bei einer Pumpturbine mit mehreren Düsen Wasser in den unbeschaufelten Raum ein (Gebiet zwischen Leitapparat und Laufrad, Abb 2). In dieser Arbeit wurde eine komplette Pumpturbine simuliert (Abb. 1). Das verwendete Netz besteht aus 6.3 Mio. Zellen. Für die CFD-Simulationen wurde ein an der Hochschule eigens entwickelter Solver verwendet. Die Simulationen wurden auf der open source Software Open-FOAM durchgeführt.

Zuerst wurde eine experimentell bestimmte Kennlinie mit CFD-Simulationen berechnet. Im nächsten Schritt wurden verschiedene Fluid-Injektion-Konfigurationen mit CFD analysiert mit dem Ziel, die Fluid-Injektion energieeffizienter zu gestalten. Im Rahmen dieser Thesis wurde auf einem Cluster ca. 2'200 Stunden auf insgesamt 450 Kernen simuliert.

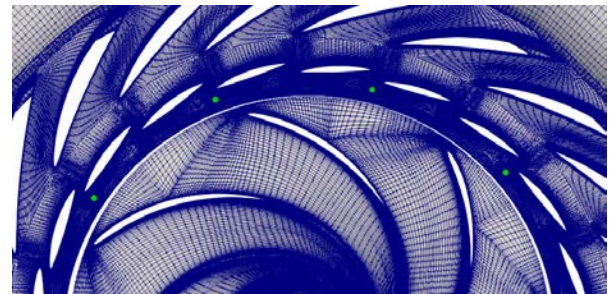


Abb. 2: Ausschnitt von Modell-Pumpturbinennetz mit grünmarkierten Einspritzdüsen im unbeschaufelten Raum

Ergebnis

Bereits im Vorfeld gemachte Experimente zeigten, dass Fluid-Injektion das Stabilitätsverhalten einer Pumpturbine positiv beeinflusst. Die CFD-Simulationen zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Experimenten. Die CFD-Untersuchungen zeigen, dass es möglich ist, die Injektionswassermenge zu reduzieren und somit die Fluid-Injektion attraktiver zu machen.

Mithilfe von post processing und einer Fourier-Analyse konnte gezeigt werden, dass dank der Fluid-Injektion das Instabilitätsphänomen namens «Rotating Stall» unterdrückt werden kann. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass bei instabilen Pumpturbinen die Laufradkanäle mit festgesetzten Wirbeln versperrt sind (Abb. 3). Diese Wirbelstrukturen konnten teilweise durch Fluid-Injektion gestört werden.

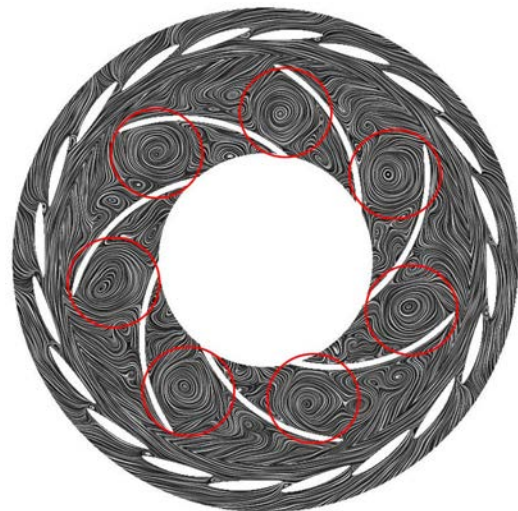


Abb. 3: Festgesetzte Kanalwirbel im Laufrad einer instabilen Pumpturbine



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Romeo Bee
Prof. Dr. Gerhard Székely
Synopta
Dipl. Ing. ETH Fleckenstein Andreas
Produktentwicklung & Mechatronik

Optimierung der Strahlausrichtung mit Hilfe von Temperatursensoren

Ausgangslage

Um leistungsstarke Datenverbindungen zwischen zwei Satelliten oder zwischen Satellit und Bodenstation zu realisieren, wird an Stelle des klassischen Radio-Funks auch Laserlicht eingesetzt. Dieses ermöglicht auf Grund seiner kleineren Wellenlänge höhere Datenübertragungsraten. Die Firma Synopta entwickelt und baut Strahlausrichtungssysteme (Coarse Pointing Assembly, CPA), welche dazu dienen, den Laserstrahl zum jeweiligen Kommunikationspartner zu richten. Dazu wird der Laserstrahl über zwei Spiegel abgelenkt. Jeder Spiegel kann mit einem Stellantrieb bewegt werden, sodass der Laserstrahl in einem hemisphärischen Raum beliebig ausgerichtet werden kann. Durch unterschiedlichen Sonneneinfall während des Orbits und durch variierende Verlustwärme des Satelliten entstehen in der CPA Temperaturschwankungen. Diese führen zu örtlicher Ausdehnung des Materials und schliesslich zur Verformung der CPA. In dieser Arbeit wurde untersucht, ob man anhand von Temperaturmessungen eine ausreichend gute Verformung berechnen kann, um eine softwaremässige Kompensation der Abweichung zwischen Soll und Ist zu ermöglichen. Die Auswahl der Messstellen der Temperatursensoren ist dabei sinnvoll zu wählen.

Je genauer auf Antrieb der Laserstrahl auf den Kommunikationspartner ausgerichtet werden kann, desto schneller kann die Verbindung aufgebaut werden. Durch die Kompensation der thermischen Verformung kann die Genauigkeit beim Vorpositionieren gesteigert werden. Dadurch nimmt der Suchvorgang weniger Zeit in Anspruch.

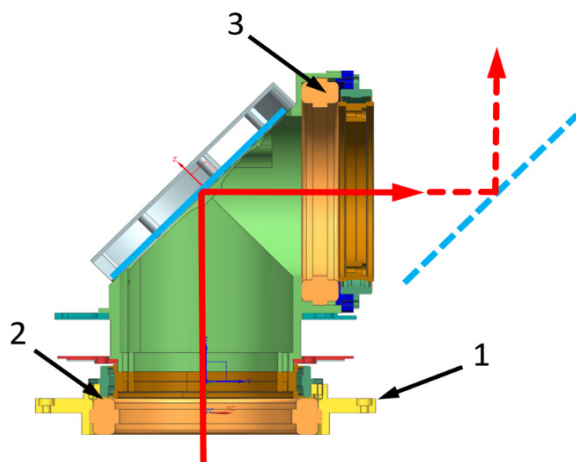


Abb. 1: Schnittbild durch den Azimut-Teil der CPA, Grundplatte (1), Stellantrieb Azimut (2), Stellantrieb (3), Spiegel (hellblau eingezeichnet), Strahlengang (rot eingezeichnet), zweite Ablenkung (unterbrochene Linie)

Vorgehen

Um die Zeit eines komplexen Versuchsaufbaus einzusparen, wurde mit entsprechender Simulations-Software ein thermo-elastisches FEM-Modell (Finite Elemente Methode) erstellt. Geometrische Details, welche kaum Einfluss haben auf die globale Verformung, wurden unterdrückt, um Rechenzeit zu sparen. Ausserdem wurde die Untersuchung auf den Azimut-Teil (nur die erste Ablenkung des Laserstrahls) beschränkt. Anhand verschiedener Temperaturverteilungen wurden die Kippwinkel des Azimutspiegels und der Elevationsachse in Bezug auf die Einspannebene ermittelt. Aus den Ergebnissen wurden mittels mathematischen Betrachtungen Funktionen zur Kompensation aufgestellt und evaluiert.

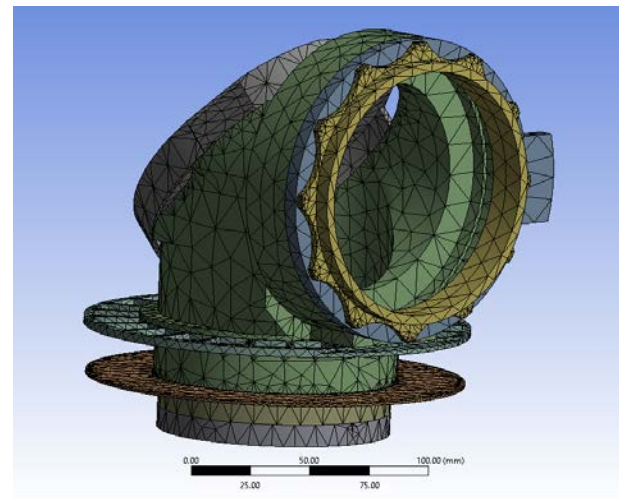


Abb. 2: FEM-Modell mit dargestellter Vernetzung

Ergebnis

Die Temperaturen, die im Einsatz erwartet werden, können die Richtung des Laserstrahls um maximal $100 \mu\text{rad}$ beeinflussen. Das entspricht für eine typische Einsatzdistanz von ca. $35'000 \text{ km}$ einer Abweichung am Ziel um $3,5 \text{ km}$. Für jedes Bauteil wurde berechnet, wie viel es zum gesamten Winkelfehler beiträgt. Dadurch konnte gezeigt werden, dass es ausreicht, die Temperatur der empfindlichsten drei Bauteile zu messen, um 97% des Winkelfehlers zu erfassen. Der Zusammenhang zwischen den gemessenen Temperaturen und dem Winkelfehler kann durch eine einfache Gleichung beschrieben werden und steht somit der Steuerung als Vorhaltewinkel zur Verfügung.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Patrik Berisha
Dr. Adrian Koller
Leister AG, Kägiswil
Dipl. Ing. ETH Thomas Knodel
Produktentwicklung & Mechatronik**

Messung der Glühtemperatur in Heizelementen

Ausgangslage

Die Firma Leister AG produziert Lufterhitzer für industrielle Anwendungen, welche hohe Lufttemperaturen voraussetzen. Das im Lufterhitzer verbaute Hochtemperaturheizelement wird im Temperaturbereich von 800 - 1000 °C bis ans Limit der verbauten Materialien betrieben. Das Glühbild eines Lufterhitzers, welcher am Temperaturmaximum betrieben, zeigt Abb. 1. Ein wesentlicher Faktor für die verkürzte Lebensdauer der Heizelemente ist die höchste auftretende Heizdrahttemperatur. Die Erkennung und Quantifizierung dieser Hotspots sind grundlegend für die Auslegung und Optimierung der Heizelemente. In dieser Bachelor-Thesis wird die Machbarkeit untersucht, ob eine optische Bestimmung einer Temperaturverteilung möglich ist.

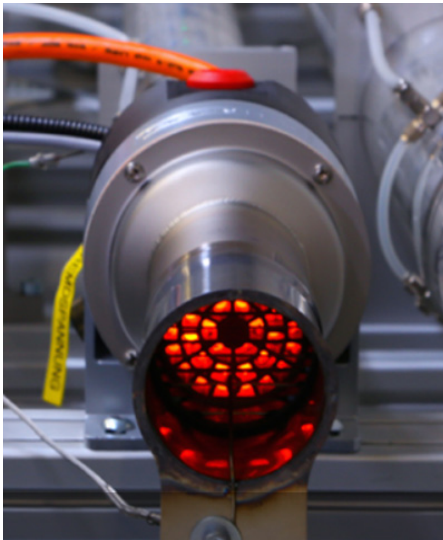


Abb. 1: Lufterhitzer im Glühbereich

Vorgehen

Nach einer gründlichen Ist-Analyse wurden die passenden Komponenten für Kamera, Optik und vier Bandpassfilter ausgesucht. Es wurde ein Testversuch mit dem Lufterhitzer LHS61S und den gewählten Komponenten durchgeführt. Die ausgesuchten Filter liegen mit ihrer Halbwertsbreite (Durchlass-Zone) im sichtbaren und im infraroten Bereich. Es wurde geprüft, ob eine Kamera, die im sichtbaren Bereich empfindlich ist, eine genug hohe Auflösung hat und durch das Einsetzen von Bandpassfilter Bilder generieren kann, bei denen die Temperatur-Hotspots erkannt werden können.



Abb. 2: Machbarkeitsnachweis zum Erkennen der Temperatur-Hotspots

Ergebnis

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass mit den verwendeten Komponenten Bilder erzeugt werden können, mit denen die heißen Temperaturzonen erkannt werden. Die Markierung in Abb. 2 zeigt, wo die Temperatur-Hotspots im Heizelement liegen. Nach dem erfolgreichen Nachweis wurde für den bestehenden Teststand ein Messkonzept realisiert, mit dem die Lufterhitzer auf ihre Temperatur-Hotspots getestet werden können. Das Konzept (Abb. 3) wird in einen bestehenden Schutzwagen integriert. Es besitzt eine Positioniereinheit, mit der vier Freiheitsgrade der ausgewählten Optikkomponenten eingestellt werden können.

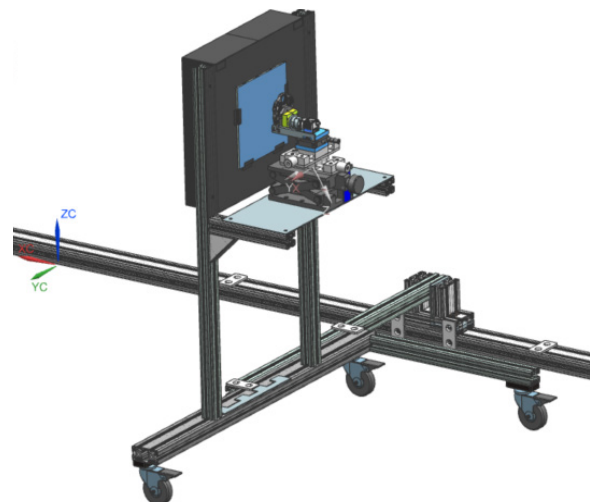


Abb. 3: Messkonzept integriert im Teststand



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Roland Beutler
Prof. Dr. Johann Lodewyks
Kraftwerke Oberhasli AG
Dipl. Ing. FH Roger Dubach
Produktentwicklung & Mechatronik**

Linearantriebskonzept für Kugelschieberventil

Ausgangslage

Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) betreiben ein Pumpspeicherwerk im Grimselgebiet und führen diverse Arbeiten im Bereich der Wasserkraftwerke durch. In mehreren Anlagen der KWO kommen als Abschlussorgane vor der Turbine bzw. Pumpe Kugelschieberventile zum Einsatz, welche über einen wartungsintensiven Ringkolbenantrieb mit Wasserhydraulik verfügen (Abb. 1). Bei den Ringkolbenantrieben ist vor allem das Wechseln der Kolbendichtungen, das Ausbessern von Beschädigungen an der Kolbenfläche sowie die Wartung der Ventile der Wassersteuerung aufwändig und kostenintensiv.

Im Rahmen der Arbeit wird ein neues Antriebskonzept erarbeitet, welches bei einer Generalrevision den vorhandenen Ringkolbenantrieb ersetzen kann.

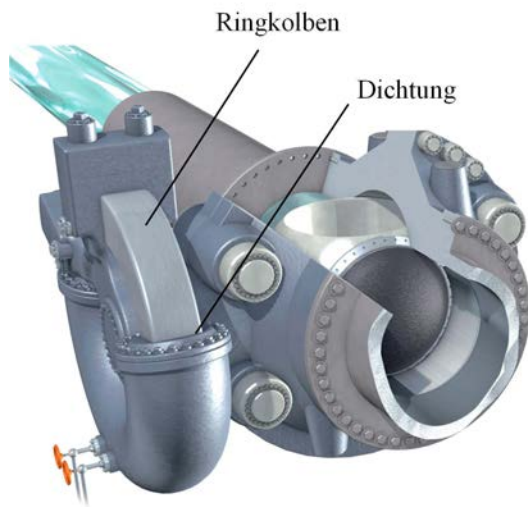


Abb. 1: Illustration Kugelschieber (aktueller Antrieb)

Vorgehen

Neben der Einarbeitung in die hydraulische Antriebstechnik erfolgt die Recherche zum Kraftwerk Grimsel 2 sowie die Zusammenstellung der Anforderungen an den Kugelschieberantrieb. Dabei muss aufgrund der sicherheitsrelevanten Funktion der Kugelschieber ein Notschluss ohne äussere Energieversorgung möglich sein. Für das Bestimmen der nötigen Betätigungsmomente werden eine Modellrechnung durchgeführt sowie eine Messung des Steuerdruckes am vorhandenen Ringkolbenantrieb geplant und durchgeführt. Im Rahmen der Variantenfindung wird eine breite Auswahl an hydraulischen, elektrischen und mechanischen Antriebs- und Notschlussvarianten betreffend technischer Machbarkeit und Kosten untersucht.

Ergebnis

Der Kugelschieberantrieb mittels Hydraulikzylinder und Hebelarm hat sich im Rahmen der Variantenbewertung als vielversprechendstes Konzept herausgestellt.

Für die genannte Antriebsvariante werden der Aufbau des Hydrauliksystems definiert und die Hydraulikzylinderabmessungen ausgewählt. Weiter wird ein Konstruktionsentwurf erstellt und im Rahmen einer Belastungsanalyse validiert. Um einen Vergleich mit dem aktuellen Ringkolbenantrieb zu ermöglichen, wird eine Kostenabschätzung der erforderlichen mechanischen und hydraulischen Komponenten erstellt.

Das weitere Vorgehen bei der Umsetzung des Antriebskonzepts sind das Erstellen der Detailkonstruktion sowie die Entwicklung des Hydrauliksystems in Zusammenarbeit mit einem Lieferanten von Hydrauliklösungen.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Thomas Binggeli
Dipl. Ing. FH Pierre Kirchhofer
Schindler Aufzüge AG
B. Sc. ME Stephanie Janssen
Produktentwicklung & Mechatronik**

Requirement Engineering GAP-Analyse

Ausgangslage

Der globale Verkauf und Einsatz von Aufzugssystemen und seinen Komponenten erfordert die Einhaltung aller länderspezifischen Normen und Richtlinien. Eine detaillierte und fehlerfreie Dokumentation ist damit auch Grundlage für ein mögliches «Requirement Engineering». Abweichungen müssen erfasst, versioniert und eingepflegt werden. In der technischen Dokumentation wurde dafür bei der Schindler Aufzüge AG seit 2019 das Tool «PTC Integrity» eingeführt, um einen systematischen Dokumentationsprozess voran zu treiben.

Die Handhabung und Pflege dieser Datenbank wird über die Jahre nur noch mit grossem Aufwand möglich sein. Der Dokumentations-Prozess ist fehleranfällig und unübersichtbar geworden und verlangt nach Verbesserungen.

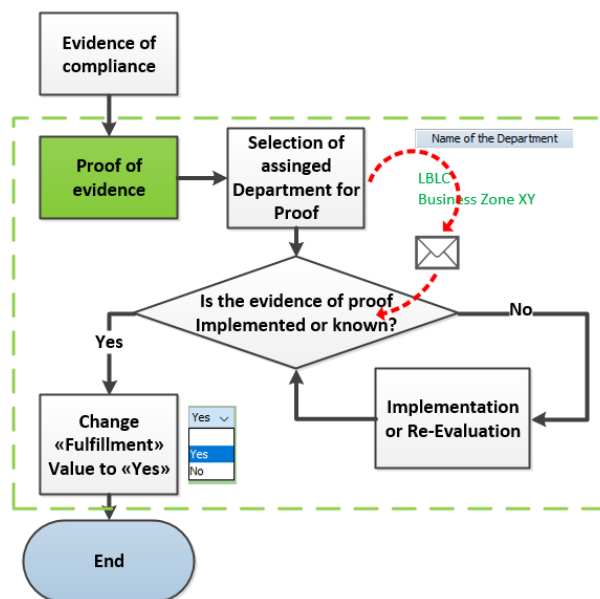


Abb. 1: Ausschnitt Prozess-Workflow Analyse und Optimierung

Vorgehen

Die Projektarbeit befasste sich mit einer detaillierten Untersuchung des aktuellen Prozesses als «IST-Analyse» der bestehenden Prozesslücken. Diese wurden systematisch in drei Stufen durchgeführt, beginnend mit der Erarbeitung eines Prozess-Workflows. Für eine flächendeckende Analyse

wurde zusätzlich eine Schnittstellen-Analyse sowie eine Parameterstudie durchgeführt. Dabei konnten die erarbeiteten Erkenntnisse als Argumentationsgrundlage für eine weiterführende Konzeptentwicklung dienen. Mit einem eigens entwickelten Tool können zukünftige Möglichkeiten sowie Verbesserungen hervorgehoben werden. Der Prototyp dieses Tools, entwickelt auf Basis von Microsoft Excel, ist somit Teil des Konzeptvorschlages.

Ergebnis

Eine Grosszahl der Prozesslücken ist auf den Umgang und den aktuellen Aufbau der Datenbank zurückzuführen. Mit der Entwicklung des Prototypen zur Auslesung der aktuellen Datenbank können Mängel einfach und genau visualisiert und lokalisiert werden. In Zukunft soll die Datenmenge erhöht und lesbarer gestaltet werden. Somit wäre die Auslesung aller länderspezifischen Produkthanforderungen nachweislich genauer und signifikant schneller.

Zusätzlich wurden Lösungskonzepte zur Verbesserung des aktuellen Workflows erarbeitet und visualisiert, welche den Prozess sicherer und die Verantwortlichkeiten klarer gestalten.

Abb. 2: Prototyp der GUI-Datenbankabfrage



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Christoph Binkert
Prof. Dr. Carsten Haack
keine Angabe
Dr. Rudolf Morach
Produktentwicklung & Mechatronik**

Erarbeitung des Engineering Workflows zur Herstellung von metallischen AM-Bauteilen

Ausgangslage

Die Industrie steht vermehrt unter dem Druck, kosten- sowie ressourcensparend zu handeln. So sind viele Firmen bestrebt, mit neuen Fertigungsverfahren wie dem Additive Manufacturing (AM) dieser Herausforderung gerecht zu werden. Mit den additiven Fertigungsverfahren von metallischen Bauteilen können dank der direkten Wiederverwendbarkeit des unverbrauchten, kostenintensiven Rohmaterials signifikante Material- und folglich Kosteneinsparungen erzielt werden. Zudem werden durch die Verwendung topologieoptimierter Strukturen, welche sich durch das werkzeuglose Herstellverfahren realisieren lassen, weitere Material-, Kosten- sowie Gewichtseinsparungen erzielt.

Um die genannten neuen Möglichkeiten in der Industrie optimal einsetzen zu können, sind die dafür relevanten Softwares von diversen Anbietern entwickelt worden. Dabei handelte es sich bislang um eine Vielzahl einzelner, zueinander nicht assoziativer Entwicklertools. Die Firma Siemens bietet mit dem CAD-System «NX» (HSLU, Version NX_12.0) nun die Möglichkeit, die Entwicklung additiv gefertigter Bauteile über die gesamte Prozesskette in einer integrierten Software zu unterstützen, womit nicht-assoziative Schnittstellen eliminiert werden.

Die hierfür typische Entwicklungskette (Abb. 1) soll nun komplett durchlaufen werden und das Potential sowie die Limitationen der eingesetzten Software aufgezeigt werden.



Abb. 1: NX-Prozesskette eines additiv gefertigten Bauteils (Quelle: Siemens PLM)

Vorgehen

Die in Abb. 1 ersichtliche Prozesskette wird mit einem Beispielbauteil vollständig durchlaufen. Dies beginnt mit der Topologie-Optimierung der eigentlichen Bauteilgeometrie, gefolgt von einer ersten, groben Verifizierung der Dimensionierung. Anschliessend wird die Geometrie finalisiert, so dass sie dem definitiven Bauteil entspricht. Von jenem Bauteil wird nachfolgend eine finale Überprüfung der Festigkeit und der Stabilität durchgeführt, so dass ein Leistungsnachweis erbracht werden kann (gemäss heutigem Stand der Technik).

Erfüllt das Bauteildesign alle Anforderungen, können die für die Herstellung relevanten Anpassungen und Ergänzungen erstellt werden. Dies beinhaltet die Orientierung und Platzierung des Bauteils (Abb. 2, gelb) im Bauraum des Druckers sowie das Erstellen der für den Druck relevanten Supportstützen (Abb. 2, blau). Vor dem Transfer zum Drucker kann mit einer finalen Verifizierung der Geometrie sichergestellt werden, dass beispielsweise der maximal mögliche Überhangswinkel nicht überschritten wird.

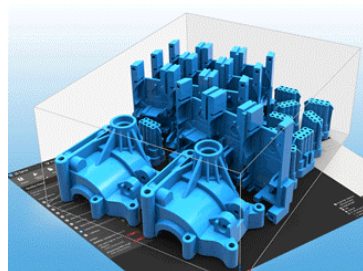


Abb. 2: Virtuelle Darstellung des Druckraums, Nesting bzw. Build Tray, (Quelle: 3D-Model)

Ergebnis

Die Kombination von Additive Manufacturing als Herstellverfahren mit der Topologie-Optimierung ermöglicht neue, innovative Konstruktionsansätze für Leichtbaustrukturen, welche ganz allgemein die Performance des Produktes erhöhen. Die grundsätzlichen Erwartungen an das Tool mit einer durchgängigen und assoziativen Prozesskette werden jedoch nicht vollumfänglich erfüllt. Beispielsweise ist die Verarbeitung der Geometrie aus der Topologie-Optimierung mangelhaft, so dass die Geometrie gänzlich mit herkömmlichen design-features nachmodelliert werden muss. Daraus resultiert eine nicht-assoziative Kopie. Bis die Limitationen behoben sind, bietet das Nachmodellieren jedoch eine praktikable und parametrisierbare Übergangslösung. Somit wird eine gute Basis gebildet, um die Lernkurve in Richtung end-to-end Lösung weiter voranzutreiben. Nicht zu vernachlässigen ist, dass trotz Validierungsunterstützungen weiterhin fundiertes Anwender-«Know-how» und Erfahrung notwendig sind.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Ludwig Bucher
Prof. Dr. Johann Lodewyks
Adrian Kocher
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung eines hydraulischen Antriebkonzeptes

Ausgangslage

Durch ein neuartiges Antriebskonzept im Bereich der Siebtechnik soll die Produktivität der Siebanlage sowie die Klassifizierungsqualität des Schüttgutes optimiert werden. Dazu wurde in vorangegangenen Arbeiten ein solches Konzept erarbeitet. Dieses ist vertraulich und wird daher nicht genauer erläutert.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, unterschiedliche Antriebskonzepte für eine bestimmte Bewegung dieses Konzeptes zu generieren.

Ein axialer Verstellweg von 85 mm bei 27'340 N Maximallast bei begrenzten Platzverhältnissen sind die wichtigsten Anforderungen. Das Synchronisieren von bis zu vier solcher Antriebe stellt eine weitere Herausforderung dar.

Vorgehen

Eine fundierte Analyse des bestehenden Antriebskonzeptes legte die Grundlage zu dieser Arbeit. Gemeinsam mit dem Industriepartner wurden Randbedingungen und Anforderungen definiert.

Die Bewegungsaufgabe wurde anschliessend abstrakt betrachtet und bekannten Bewegungsformen zugeordnet. Zielführende Bewegungsformen wurden dann auf technische Lösungen übertragen. Dabei wurden einige Bewegungsformen ausgeschlossen, da sie den Anforderungen nicht gerecht werden konnten. Drei vielversprechende Konzepte wurden weiter ausgearbeitet und mit Berechnungen sowie Simulationen auf ihre Machbarkeit analysiert. In Zusammenarbeit mit dem Industriepartner fand eine Bewertung der drei Konzepte statt.

Ergebnis

Von den drei ausgearbeiteten Konzepten stellte sich das hydraulische Antriebskonzept als beste Lösung heraus. Dieses wird hier kurz erläutert. Die Synchronisation von vier Verstellungen stellt die grösste Herausforderung dar. Sie wird über mechanisch zwangsgeführte Geberzylinder und mittels hydraulischer Gestänge verbundene Arbeitszylinder bewältigt.

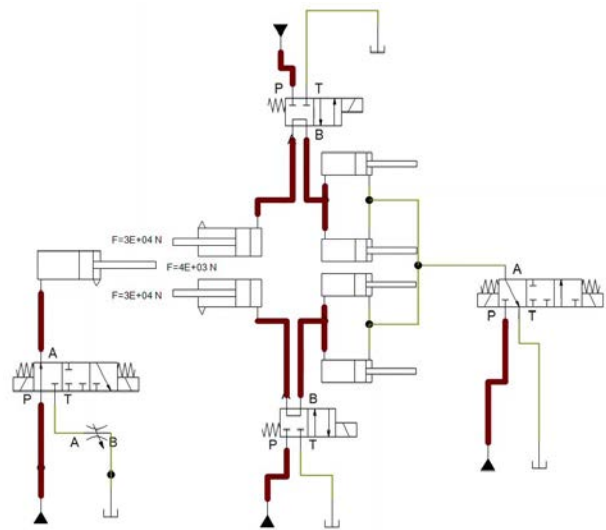


Abb. 1: Hydraulikschema für zwei synchronisierte Antriebe

Ist eine Verstellung gefordert, wird ein Steuerzylinder mit dem Pumpendruck in Bewegung versetzt. Dieser ist mechanisch mit bis zu vier Geberzylinder verbunden. Diese fahren dadurch ein. Das verdrängte Hydraulikvolumen der Geberzylinder wird über Leitungen zu den Arbeitszylindern geführt, welche die eigentliche Aufgabe des Konzeptes, die Verstellung der Last, übernehmen. Die Arbeitszylinder können durch diesen Aufbau über die eingespernten Hydraulikvolumen synchronisiert werden. Die Synchronisation bleibt auch bei Lastunterschieden erhalten.

Ein Initialisieren und das damit beabsichtigte Forcieren der Synchronisation kann über Ausgleichsventile ausgeführt werden.

Das hydraulische Konzept überzeugt durch dessen Einfachheit und des geringen Gewichts. Eine schnelle Verstellung ist möglich und die hydraulischen Komponenten sind robust.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Manuel Cortez
Prof. Dr. Carsten Haack
SMS Concast AG
Dr. Rudolf Morach
Produktentwicklung & Mechatronik**

Analyse und Weiterentwicklung einer Markiermaschine für Stahlknüppel

Ausgangslage

In der Stahlherstellung und -verarbeitung ist die Nachverfolgbarkeit der Produkte von grosser Bedeutung. Die zum Teil 700 bis 1000 °C heissen Stahlerzeugnisse müssen entsprechend gekennzeichnet werden. Die SMS Concast AG verwendet für diesen Vorgang eine Knüppelmarkiermaschine mit rotierendem Revolverkopf. Bei der aktuellen Maschine werden Schlagzahlen mit Hilfe eines vorgespannten Schlagbolzens verwendet. Angetrieben werden diese von einem Servomotor. Dieser Mechanismus (Abb. 1) zum Antrieb der Schlagzahlen soll überarbeitet werden. Das Ziel dieser Weiterentwicklung ist ein leistungsfähigerer und kostengünstigerer Antrieb.

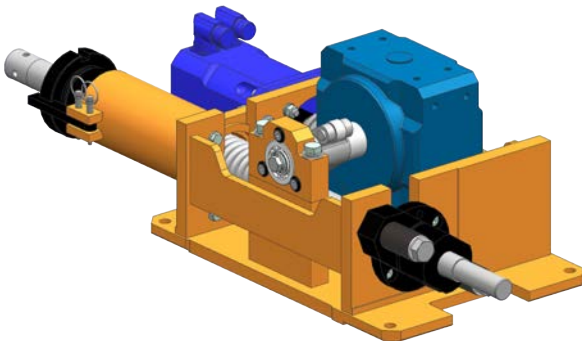


Abb. 1: Aufbau Schlagmechanismus

Vorgehen

Zu Beginn wurde der bestehende Antriebsstrang analysiert, welche mit vereinfachten kinematischen Modellen durchgeführt wurde. Diese wurden dann in einer Excel Tabelle aufgelistet und ausgewertet. Die Ergebnisse aus diesem Prozess wurden für eine weitere grobe Auslegung neuer Konzepte angewendet. In Betracht gezogen wurden Möglichkeiten von pneumatischen Antriebsmitteln bis hin zu elektrischen Linearantrieben. Mithilfe einer Bewertungsmatrix wurden die einzelnen Konzepte ausgewertet und ein Lösungskonzept bestimmt. Das geeignetste Konzept wurde weiter überarbeitet, um eine mögliche Einbindung in die Produktmarkiermaschine zu demonstrieren. Für die kritischsten Komponenten wurden Berechnungen zur Festigkeit und Verformung durchgeführt.

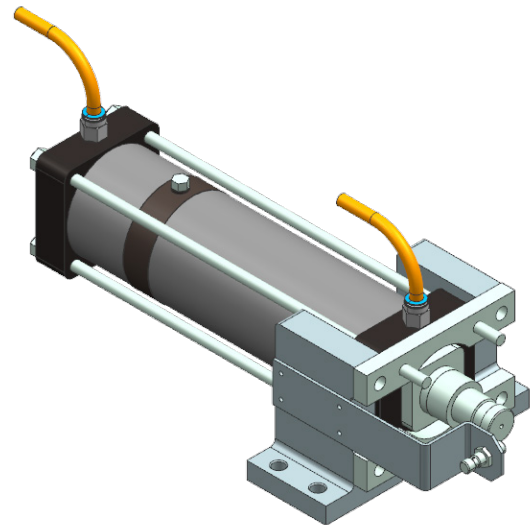


Abb. 2: Aufbau Lösungskonzept

Ergebnis

Während der Konzeptionsphase stellte sich heraus, dass keines der neuen Konzepte alle Anforderungen erfüllen kann. Die beste Alternative stellt ein mit Druckluft betriebener Schlagzylinder (Abb. 2) dar. Der neue Antrieb stellt mehr Energie für die Ausführung der Markierung zur Verfügung und benötigt weniger Bauteile für die Integration in die Maschine. Die Nachteile sind hohe Kosten bei langen Zykluszeiten.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Marco Degen
Prof. Dr. Peter Gruber
Endress+Hauser Flowtec AG
Dr. Thomas Schlieper
Produktentwicklung & Mechatronik**

Pressure and Temperature Calibration Module “PTCM”

Introduction

The company Endress+Hauser Flowtec AG (E+H) in Reinach BL manufactures flowmeters of various designs. An important part of the production and key process to ensure the accuracy of a measuring device is calibration. E+H uses several density and flow calibration rigs for this purpose.

These calibration rigs use pressure and temperature sensors that are relevant to measurement and which must be recalibrated regularly. This process is currently carried out manually by employees from the rig manufacturing department and is very time-consuming. In the future, this process is to be automated to a large extent and performed by employees from the rig operating department.

The task of this thesis is the completion of the design, assembly, validation and commissioning of the mobile pressure and temperature sensor calibration module (PTCM), which was previously developed as part of an industrial project. The objective is to reduce the time required for sensor calibration, reduce measurement uncertainty and increase repeatability. Furthermore, the process is to be automated to a large extent and operation is to be simplified.



Fig. 1: Rendering of the mobile pressure and temperature sensor calibration module (PTCM)

Procedure

Details have been added to the design and small modifications have been made, so that at the beginning of the thesis the components for the frame could be ordered as quickly as possible. In parallel, a software engineer was working on the automation and the development of the visualization. After finishing the frame of the PTCM, the electronics were installed and the devices were placed, this completed the physical construction. First versions of the software could already be implemented and tested at this time. Besides the mechanical tests, the measurement uncertainty budget was recalculated to ensure that the accuracy requirements were met. At the end of the work, measurements with test devices could be performed and evaluated.

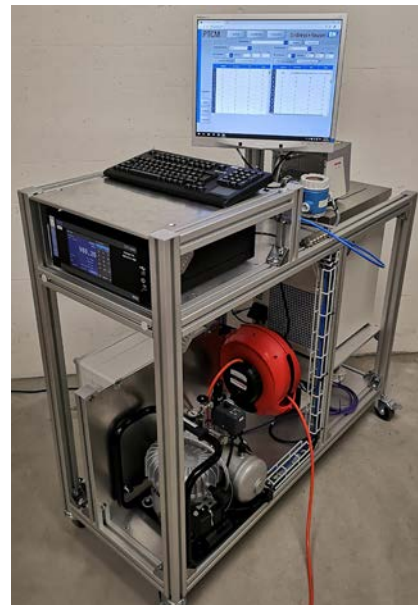
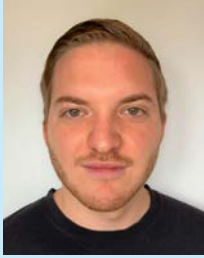


Fig. 2: Picture of the PTCM

Results

Mechanically, the PTCM is almost completed, there are only small adaptations to be made. However, the software is only usable as proof of concept, and there is still some effort required in order to be able to use the PTCM in the field. Especially the connection with the calibration rigs is not yet realized. In terms of measurement the PTCM is usable and its measurement uncertainty is in the required range.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Robin Durrer
Prof. Dr. Carsten Haack
maxon motor ag
Dipl. Ing. ETH Rudolf Morach
Produktentwicklung & Mechatronik**

Mobile Roboterplattform für den Aussenbereich

Ausgangslage

Die Firma maxon entwickelt nebst hochpräzisen Kleinstantrieben auch komplette Systemlösungen in der Elektromobilität und Robotik. Mit dem Fachbereich «Elektrotechnik» wurde interdisziplinär eine mobile Roboterplattform für den Aussenbereich entwickelt, die komplett mit maxon Antrieben und Steuerungen ausgestattet ist. Der erste Prototyp muss modular aufgebaut sein, um verschiedene Nutzlasten und Sensoren befestigen zu können.

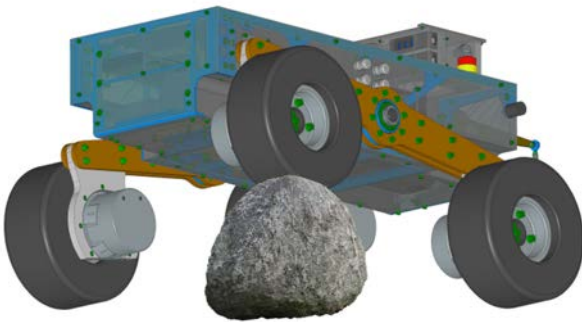


Abb. 1: Geländetauglichkeit durch bewegliches Fahrwerk

Vorgehen

Da noch keine Anwendung spezifiziert ist, sind die Anforderungen aus den vorgegebenen maxon Komponenten und dem aktuellen Marktangebot entstanden. Die Hochschule Luzern arbeitet bereits mit mobilen Robotern und konnte ihre wertvollen Erfahrungen in die Lösungsfindung einbringen. Aus vier Lösungsvarianten wurde entschieden, das Lösungskonzept mit Luftreifen, einem beweglichen Fahrwerk und die Lenkung mit Drehzahldifferenz umzusetzen.

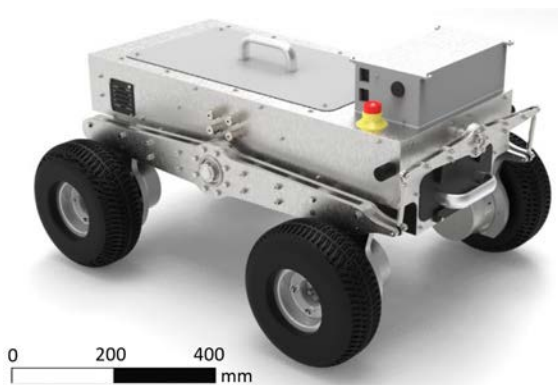


Abb. 2: Mobile Roboterplattform: Fahrwerk und Gelenksystem

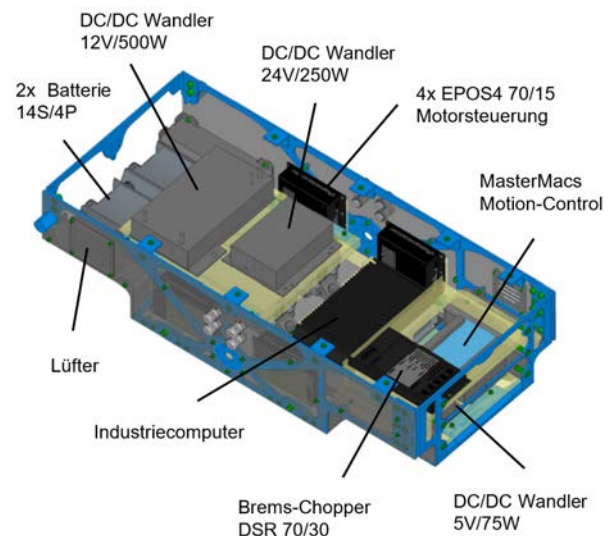


Abb. 3: Elektronik, Innenleben

Ergebnis

Das Produkt dieser Bachelor-Thesis sind die Fertigungsunterlagen für den Aufbau der mobilen Roboterplattform. Die Aussendimensionen der mobilen Roboterplattform sind 887 x 692 x 500 mm (L x B x H) bei einem Leergewicht von 75 Kilogramm. Die maximal mögliche Nutzlast beträgt 50 Kilogramm. Im Gelände können durch das bewegliche Fahrwerk Hindernisse bis 200 mm überwunden werden (Abb.1). Mit dem leistungsstarken Allradantrieb kann bei einem Gefälle von bis zu 45° gefahren werden. Die maximale Geschwindigkeit beträgt 1.5 m/s. Zwei Lithium-Ionen-Batterien ermöglichen eine Betriebszeit von rund sechs Stunden. An der Plattform befinden sich diverse Gewindebohrungen, Kommunikationsschnittstellen und Versorgungsanschlüsse (5V, 12V und 24V) um ein breitgefächertes Anwendungsgebiet abzudecken. Bei der Konstruktion wurde auf mehrteilig verschraubte lasergeschnittene Blech-Komponenten gesetzt. In der ersten Testphase kann der Konstruktionsaufwand bei Anpassungen klein gehalten werden. Der Roboter wird über einen Xbox Controller gesteuert. Sensoren werden zu einem späteren Zeitpunkt nachgerüstet, um ein autonomes Fahren zu ermöglichen.

Als nächster Schritt werden die Komponenten von der Hochschule Luzern beschafft und der mobile Roboter aufgebaut.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Samuel Durrer
Dipl. Ing. FH Joshua Lanter
Eigenes Projekt
Dipl. Ing. ETH Thomas Knodel
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung eines 3D-Druckers mit mehreren Düsen

Ausgangslage

Die additive Fertigung findet immer mehr Anwendungen in der Industrie sowie im privaten Bereich. Kein anderes Herstellungsverfahren erlaubt derart grosse Freiheiten in der Gestaltung der Bauteile wie die additive Fertigung. Ein grosser Nachteil ist aber die lange Druckzeit für ein detailliertes Modell. Ziel dieser Arbeit war es, einen Drucker zu entwickeln, mit dem bei gleichbleibender Genauigkeit die Druckzeit reduziert werden kann. Dazu wurde das Gehäuse, die Antriebstechnik sowie das Steuerungskonzept entwickelt. Parallel dazu wurde in einer weiteren Bachelorthesis der Druckkopf thermisch ausgelegt.

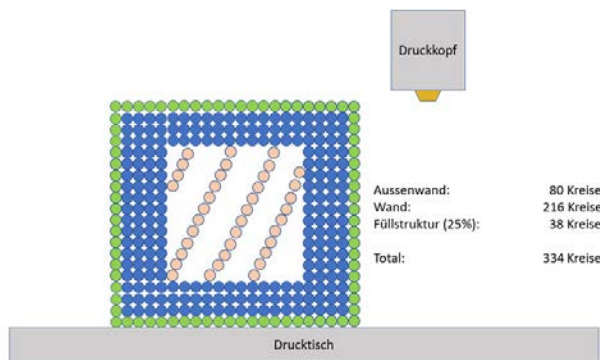


Abb. 1: Aufbau eines herkömmlichen Druckobjekts

Vorgehen

Zu Beginn wurde eine Markanalyse gemacht, ob schon etwas Ähnliches auf dem Markt existiert. Anhand der VDI-Richtlinie 2222 wurde ein neuer Drucker entwickelt (Abb. 2). Dazu wurden alle mechanischen Bauteile und die notwendige Antriebstechnik ausgelegt. Zusätzlich wurde ein Steuerungskonzept entwickelt um die Ansteuerung der einzelnen Aktoren zu gewährleisten.

Ergebnis

Wie in Abb. 1 dargestellt wird ein herkömmliches Druckobjekt Schicht für Schicht mit demselben Düsendurchmesser aufgebaut. Neu ist es nun möglich, drei unterschiedlich



Abb. 2: Prototyp des neuen Druckers

grosse Filamente durch drei verschiedene Düsen aufzutragen. Durch automatisches Wechseln der Düsen entsteht eine maximale Flexibilität im Aufbau des Modells. Füllstrukturen oder Innenwände werden mit der grossen Düse und mit einer hohen Druckgeschwindigkeit gedruckt. Dadurch erhält man eine Druckzeitreduktion von bis zu 50 % gegenüber dem herkömmlichen 3D-Drucken.

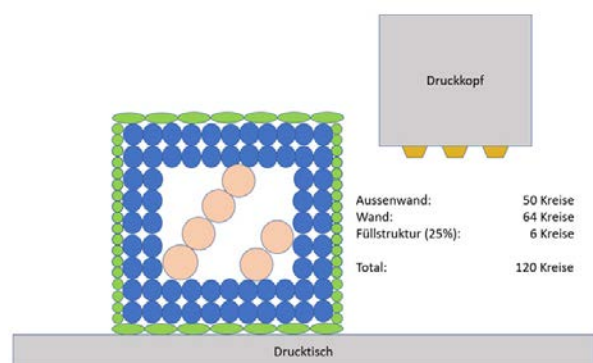


Abb. 3: Aufbau des neuen Druckobjekts



Diplomanden	Kevin Frey
Dozent	Prof. Dr. Carsten Haack
Projektpartner	Andritz Hydro AG
Experte	Dr. Rudolf Morach
Themengebiet	Produktentwicklung & Mechatronik

Potenzialstudie zur Topologieoptimierung bei Peltonbechern

Ausgangslage

Peltonlaufräder, die ein Gewicht von 42 t oder einen Durchmesser von 4 m überschreiten, werden mit dem additiven Herstellungsverfahren MicroGuss hergestellt. Mit Hilfe von Schweiss-Knickarmrobotern wird Schweissraupe für Schweissraupe aufgetragen, bis die Peltonbecher ihre grobe Form erhalten. Durch die Reduktion des Bechergewichtes auf ein Minimum können einerseits der Verbrauch von Schweissmaterial, Schutzgas sowie Schweisszeit und andererseits die Produktionskosten gesenkt werden. Ziel war es, mit Hilfe der Topologieoptimierungsfunktion von Ansys die Masse des Peltonbechers zu reduzieren, wobei die Steifigkeit und der hydraulischen Wirkungsgrad unverändert bleiben sollen.

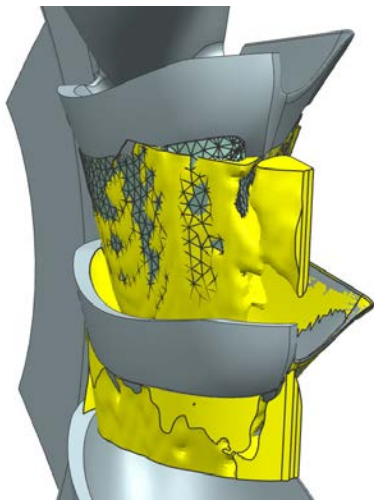


Abb. 1: Modellaufbau zur Definition des Bauraumes

Vorgehen

Auf Basis einer vorgelegten CFD-Analyse musste in einem ersten Schritt der Bauraum (Abb. 1) für die Topologieoptimierung aufmodelliert, eine statisch-mechanische FEM-Analyse eines Peltonlaufrades verstanden, sowie eine Lastvereinfachung realisiert werden. Dies ermöglichte es, eine Topologieoptimierung (Abb. 2) innert einer akzeptablen Rechenzeit durchzuführen. Für die anschließende Verifizierung des optimierten Peltonbechers benötigte es eine abschliessende FEM-Analyse (Abb. 3). Diese konnte jedoch erst nach einer Geometrierückführung, bei der mehrere Konstruktionsprogramme zum Einsatz kamen, durchgeführt werden.

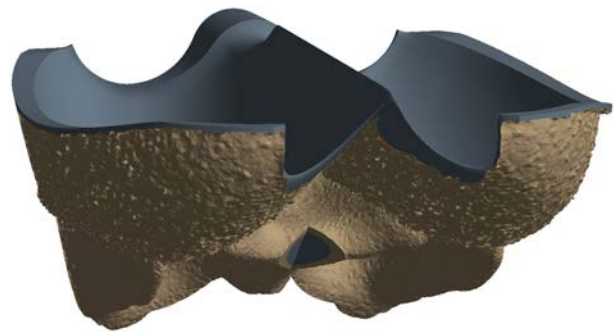


Abb. 2: Resultat einer Topologieoptimierung

Ergebnis

Das Resultat der Arbeit zeigt einen topologieoptimierten Peltonbecher, der gegenüber dem Ausgangsmodell eine 20 % geringere Masse aufweist. Er erfüllt die notwendigen technischen Anforderungen und birgt ausserdem weiteres Optimierungspotential.

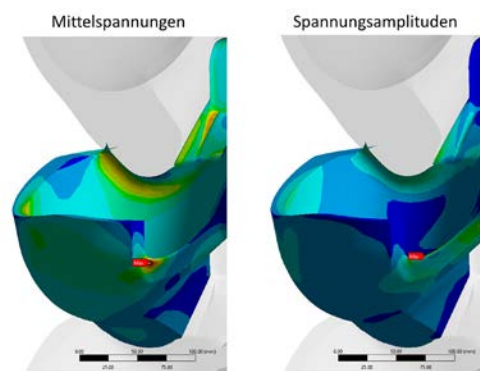


Abb. 3: Abschliessende FEM-Analyse



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Simon Gerig
Prof. Dr. Carsten Haack
AM Kyburz AG
Dr. Rudolf Morach
Produktentwicklung & Mechatronik**

Möglichkeiten und Limitation von hybrid hergestellten hochbelasteten Bauteilen

Ausgangslage

Die additive Fertigung von Metall-Bauteilen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Bei diesem Verfahren entsteht das Werkstück schichtweise aus einem Pulverbett heraus. Über ein Laserschmelzverfahren werden die einzelnen Schichten miteinander verschmolzen.

In einer Zusammenarbeit mit AM Kyburz AG wurde vorgängig versucht, auf einen hochfesten Werkzeugstahl (Basisbauteil) durch additiver Fertigung aufzudrucken. Die ersten Versuche zeigten sehr vielversprechende Resultate. Diese Hybrid-Technik hat Potential für verschiedene Anwendungen, bei denen ein hochfester, harter Teil mit einem zähen, weniger harten Teil kombiniert wird. Im Rahmen dieser Arbeit sollten nun die Anwendungsmöglichkeiten der Hybrid-Technik genauer untersucht und exemplarische Muster aufgebaut werden.

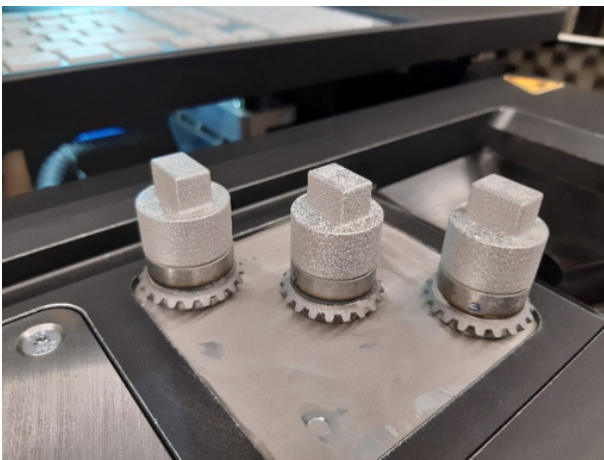


Abb. 1: Kegelzahnräder mit additiv aufgedruckten Wellenabschnitten im 3D-Drucker

Ergebnis

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Basis-Bauteile wurden entweder bestellt oder in der mechanischen Werkstatt der Hochschule Luzern hergestellt. Auf diesen Basis-Bauteilen konnte anschliessend mit dem 3D-Drucker der Hochschule Luzern aufgedruckt werden (SLM-Verfahren, siehe Abb.1).

Die hergestellten Werkstücke konnten dann mit einem taktilen Koordinatenmessgerät ausgemessen werden (Abb. 2). Aus den Erkenntnissen der Untersuchung konnten Gestaltungsregeln für die additive Fertigung mit Metall zusammengestellt werden.

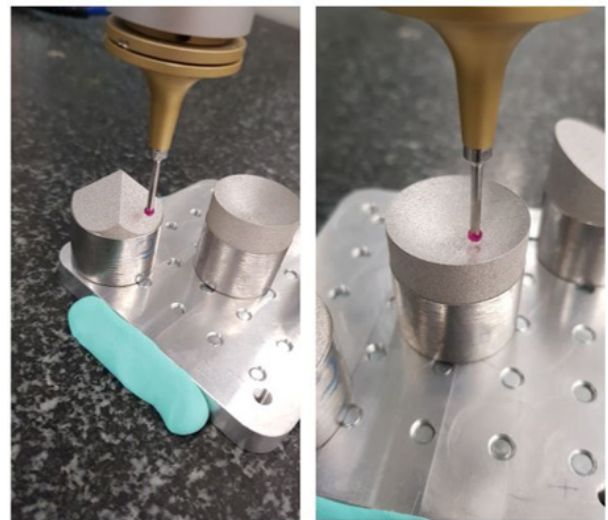


Abb. 2: Untersuchung mit dem taktilen Koordinatenmessgerät

Vorgehen

In der ersten Hälfte des Semesters ging es darum, Bauteile aus verschiedenen Anwendungsgebieten der hybriden Technik zu konstruieren und herzustellen. Dazu gehörte am Anfang eine Recherche. Darauf basierend konnte eine Anforderungsliste und ein Konzept erarbeitet werden.

In der zweiten Hälfte des Semesters lag der Fokus auf der Untersuchung der Bauteile. Die Bauteile sollten ausgemessen und analysiert werden.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Joel Gisler
Prof. Dr. Beat Wellig
Stewo International AG
Dipl. Ing. ETH Florian Brunner
Energien, Fluide und Prozesse**

Energie-Optimierung mittels Pinch-Analyse

Ausgangslage

Die Firma Stewo International AG in Wollhusen ist ein weltweit exportierendes Unternehmen, das seit 1934 in der Schweiz Geschenkpapier herstellt. Dafür stehen mehrere Druckmaschinen zur Verfügung, die eine Bedruckung mit bis zu sechs Farben ermöglichen. Zwischen dem Aufdrucken der einzelnen Farben wird die Papierbahn mit warmer Luft getrocknet. Das Unternehmen benötigt jährlich ca. 133'000 Liter Heizöl für die Erzeugung von Heißdampf, welcher u.a. in den Druckwerken zur Lufterhitzung genutzt wird. Diverse Massnahmen zur Wärmerückgewinnung sind bereits umgesetzt. Mit einer Pinch-Analyse sollen noch vorhandene Einsparpotenziale quantifiziert und konkrete Verbesserungsvorschläge erarbeitet werden.

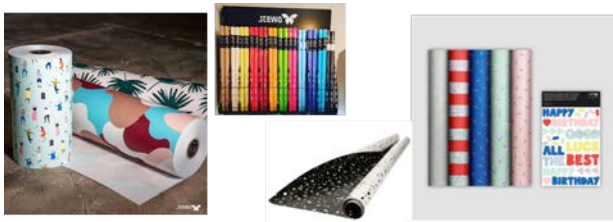


Abb. 1: Produkte Stewo International AG

Vorgehen

In einem ersten Schritt wurden Daten und Informationen zu den Produktionsprozessen, Energieversorgungssystemen, Anlagen und Apparaturen sowie betrieblichen Abläufen und Randbedingungen zusammengetragen. Anschliessend wurde eine Pinch-Analyse durchgeführt, anhand derer das Potenzial für Effizienzsteigerungen sowie Möglichkeiten zur Abwärmenutzung quantifiziert wird. In einer Variantenstudie wurden die vielversprechendsten Massnahmen aufgezeigt und vertieft ausgearbeitet.

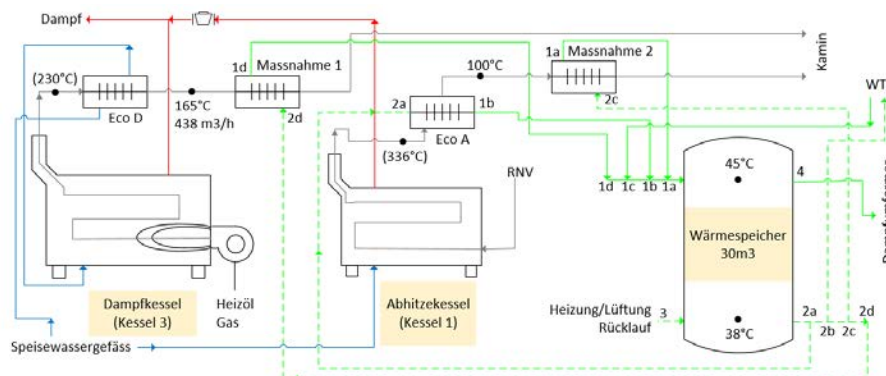


Abb. 3: Schema inkl. Massnahmen

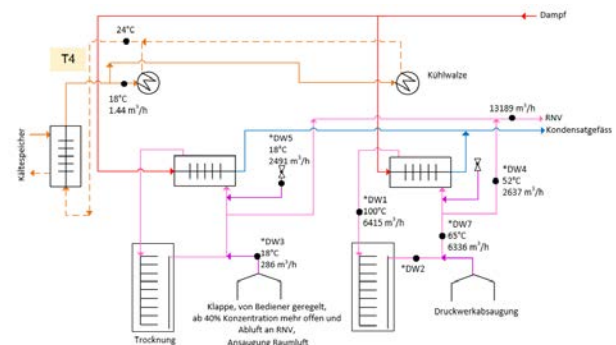


Abb. 2: Schema einer Druckmaschine mit Trocknungskanal, Wärmeübertrager und Kühlwalzen

Ergebnis

Zur weiteren Verbesserung der Anlagen konnten zwei Massnahmen zur indirekten Wärmerückgewinnung (WRG) ausgearbeitet werden. Diese basieren auf einer erweiterten WRG der Rauchgase des Dampfkessels (DK) und des Abhitze-kessels (AHK). Die zusätzliche Nutzung der Rauchgase des DK ergibt eine jährliche Energieeinsparung von 31.4 MWh, was einer Kostenreduktion von knapp CHF 2'000 entspricht. Die Investitionskosten dieser Massnahme belaufen sich auf ca. CHF 16'000, womit der Payback bei 8 Jahren liegt. Die zusätzliche Nutzung der Rauchgase des AHK spart jährlich eine Energiemenge von 45.4 MWh ein. Das entspricht einer Kostenreduktion von knapp CHF 2'900. Die Investitionskosten dieser Massnahme belaufen sich auf ca. CHF 31'400, womit der Payback bei 10.9 Jahren liegt.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Nicolas Gloor
Prof. Dr. Sabri Deniz
etaeval GmbH
Dr. Joel Schlienger
Energien, Fluide und Prozesse

Untersuchungen an einem neuen Messflügel-Design

Ausgangslage

Messflügel sind weitverbreitet und gelten als bewährte Messinstrumente für die Bestimmung der lokalen Strömungsgeschwindigkeit in Niederdruck-Wasserkraftwerken. Sie zeichnen sich besonders durch ihre Messgenauigkeit und ihre Zuverlässigkeit im Einsatz aus. In einem Vorprojekt der HSLU wurde aufgezeigt, dass durch Weiterentwicklung des Messflügels die Messdauer verringert und die Umweltverträglichkeit verbessert werden könnte.

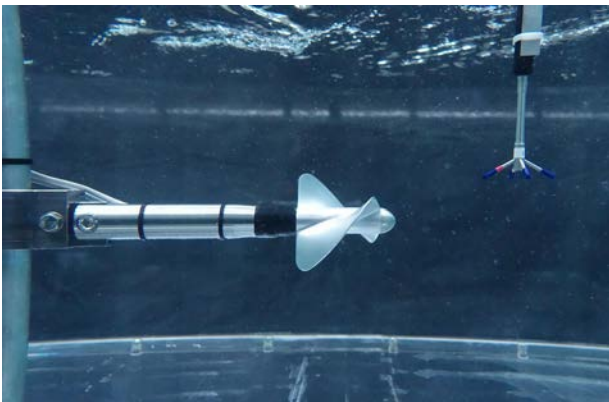


Abb. 1: Messung im Wasserkanal. Links im Bild ist der Messflügel-Prototyp, rechts das akustische Doppler Velocimeter (ADV) zu sehen

Vorgehen

In einer ersten Phase wurde der Messflügel mit einer neuartigen reibungsarmen und ölfreien Lagerung sowie einem mehrpoligen Impulsgeber konstruiert. Anschliessend wurde ein Messflügel-Prototyp hergestellt. Der Flügel wurde von einem bestehenden OTT C31 Messflügel übernommen. In einer zweiten Phase wurden die Strömungseigenschaften des Messflügel-Prototyps experimentell im Wasserkanal untersucht (Abb. 1). Die Rotationsfrequenz des neuen Messflügels wurde mit Messungen sowie mit Ergebnissen aus einer früheren Kalibration am originalen Messflügel verglichen.

Um den Einfluss der Messabweichung bei Fehlanströmung durch veränderte Strömungsrichtung aufzuzeigen, wurden Messungen mit unterschiedlichen Inzidenzwinkeln durchgeführt. Um aufzuzeigen, welche Frequenzen vom Messflügel erfasst werden können, wurden auch Messungen in der Kármán'schen Wirbelstrasse im Nachlauf eines Zylinders durchgeführt.

Ergebnis

Mit den experimentellen Messungen konnte die Eignung des neuen Messflügel-Designs für die Bestimmung der lokalen Strömungsgeschwindigkeit bestätigt werden. Durch Modellieren der zeitlichen Antwort wurde aufgezeigt, dass die unterschiedliche Beschleunigung und Verzögerung des Flügels aufgrund seines Massenträgheitsmomentes und des umgebenden Wassers für die Überschätzung der Strömungsgeschwindigkeit verantwortlich ist (Abb. 2). Schlussendlich konnte durch Modellieren der räumlichen Antwort aufgezeigt werden, dass turbulente Strukturen in der Strömung ab 10-facher Flügellänge vollständig im Messsignal abgebildet werden.

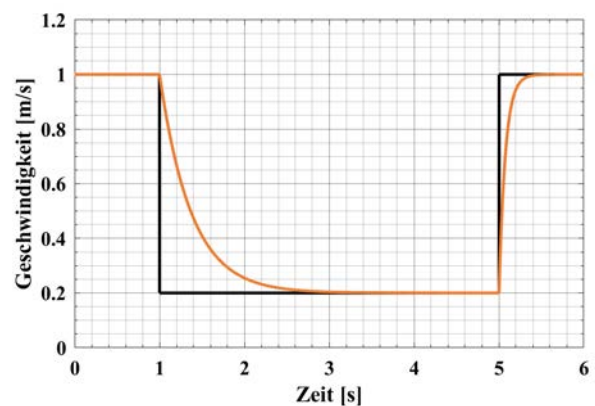


Abb. 2: Modellierter zeitliche Antwort des Flügels. In schwarz ist die schlagartige Änderung der Strömungsgeschwindigkeit und in orange die Schrittantwort des Flügels abgebildet



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Victor Guntern
Prof. Ralf Baumann
SMS Concast AG
Dipl. Ing. ETH Beat Bucher
Produktentwicklung & Mechatronik

Strukturoptimierung eines Butterfly-Pfannendrehturms mittels Topologieanalyse

Ausgangslage

Der Pfannendrehturm ist Teil einer Stranggussanlage und hat die Funktion, die Pfanne mit flüssigem Eisen aufzunehmen und durch eine Drehung um 180° in die Giessposition zu bringen. Mithilfe eines Zwischenbehälters für das flüssige Eisen kann die Zeit überbrückt werden, die für den Austausch der beiden Pfannen notwendig ist. Dies ermöglicht ein Giessen ohne Unterbruch.

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, drei der Hauptkomponenten des bestehenden Pfannendrehturms mithilfe der Anwendung einer Topologieanalyse zu optimieren. Dabei sollte das Gewicht und die damit verbundenen Kosten reduziert werden. Zusätzlich schont ein geringerer Materialverbrauch die natürlichen Ressourcen und beim Transport entstehen weniger Emissionen. Der Pfannendrehturm mit den einzelnen Hauptkomponenten ist in Abb. 1 dargestellt.

Details zum Pfannendrehturm:

Hersteller:	SMS Concast AG
Nennlast:	2 x 250 t
Eigengewicht:	150 t
Bauhöhe:	8 m
Länge:	14 m
Breite:	5.4 m

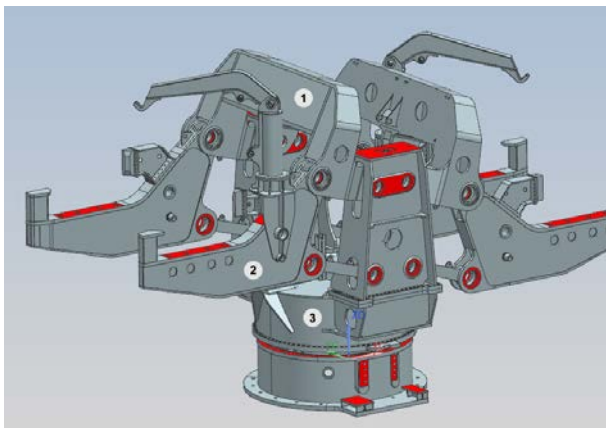


Abb. 1: Hauptkomponenten des Butterfly-Pfannendrehturms:
(1) Hebearm, (2) Sattel, (3) Konsole

Vorgehen

Im ersten Schritt wurden die Hauptkomponenten anhand der unterschiedlichen Lastfälle bezüglich ihrem Verformungsverhalten mit Hilfe der FEM-Methode analysiert.

Anschließend wurde für jedes Bauteil ein Bauraum definiert und der Topologie-Optimierungsprozess angewendet. Anhand der Randbedingungen (Lagerung und Kräfte) und Nebenbedingungen entscheidet die Software, welche Bereiche aus topologischer Sicht zur Steifigkeit des Bauteils beitragen und welche entfernt werden können. Ein Beispiel für ein Ergebnis aus der Topologieanalyse ist in Abb. 2 dargestellt.

Anhand der Erkenntnisse aus der Topologieanalyse für unterschiedliche Lastfälle wurde das Bauteil als Blechschweißkonstruktion neu modelliert und mithilfe der FEM-Analyse mit dem bestehenden Bauteil verglichen. Sowohl für die FEM- als auch die Topologieanalyse wurde die Software ANSYS eingesetzt.

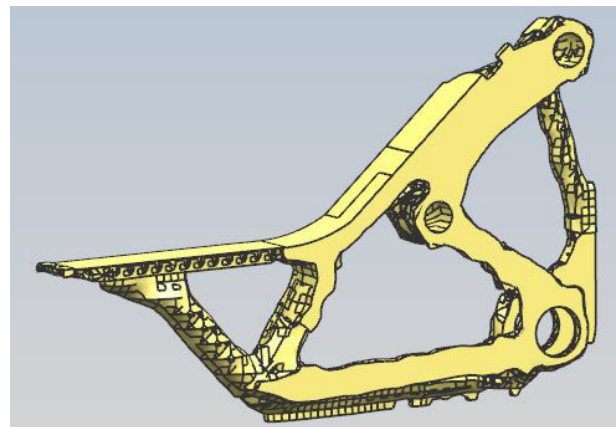


Abb. 2: Ergebnis der Topologieanalyse Bauteil Pos. 2

Ergebnis

Durch den Neuaufbau als Schweißkonstruktion anhand der Vorschläge aus der Topologieanalyse konnten die einzelnen Bauteile nicht verbessert werden. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die bestehende Anlage aus topologischer Sicht eine sehr gute Konstruktion darstellt. Jedoch ist es möglich durch zusätzliche Aussparungen an den Seitenblechen bis zu 2 % an Gewicht einzusparen, ohne bedeutsam an Steifigkeit einzubüßen.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Larissa Hehnen
Prof. Dr. Ulf Christian Müller
Siemens Schweiz AG
Dr. Joel Schlienger
Energien, Fluide und Prozesse

Experimentelle Validierung der a -Wert Formel zur Berechnung von Wärmeübertragerkennlinien

Ausgangslage

Der sogenannte a -Wert wird in der Gebäudetechnik verwendet, um die grafische Darstellung der Wärmeübertragerkennlinie zu vereinfachen. Die Betrachtung dieser Kennlinie wird zur optimalen Dimensionierung des Regulierventils benötigt. Der a -Wert kann unter gewissen Bedingungen für den Fall der Mischregelung mathematisch hergeleitet werden. Da der Massenstrom, welcher durch den Wärmeübertrager fließt, bei der Mengenregelung nicht konstant bleibt, kann dieser Fall nicht mathematisch vereinfacht werden. Aus diesem Grund wurde ein empirischer Korrekturfaktor f eingeführt, jedoch ist aus der Literatur nicht ganz ersichtlich, wie dieser Faktor bestimmt wurde.

Vorgehen

Es wurde ein Simulationsmodell in Modelica entwickelt, welches den Wärmeübertrager in Misch- und in Mengenregelung abbildet. Dieses Modell wurde anschliessend anhand von experimentellen Daten an einem Plattenwärmeübertrager validiert. Die Versuche wurden am NODES-Prüfstand vom Zentrum für integrale Gebäudetechnik (ZIG) an der Hochschule Luzern in Horw (Abb. 1) durchgeführt. Dazu wurden der nicht mathematisch herleitbare Fall der Mengenregelung im Detail analysiert.



Abb. 1: NODES-Prüfstand

Ergebnis

Das Ergebnis bestätigt, dass das Modell (Abb. 2, blaue Linie) die reale Wärmeübertragerkennlinie (Abb. 2, Messpunkte) adäquat abbilden kann. Es wurde ein verbesserter Korrekturfaktor, in diesem Fall $f = 0.8$ (Abb. 2, rote Linie), vorgeschlagen, da der in der Literatur angegebene Faktor $f = 1$ (Abb. 2, orange Linie) keine gute Übereinstimmung erzielte. Der f -Faktor scheint jedoch kein konstanter Wert zu sein. Einerseits kann kein optimaler Faktor gefunden werden, da die Krümmung der Kennlinien nicht übereinstimmen. Andererseits scheint der f -Korrekturfaktor in einem gewissen Bereich in Abhängigkeit vom a -Wert (berechnet ohne Korrekturfaktor) zu sein.

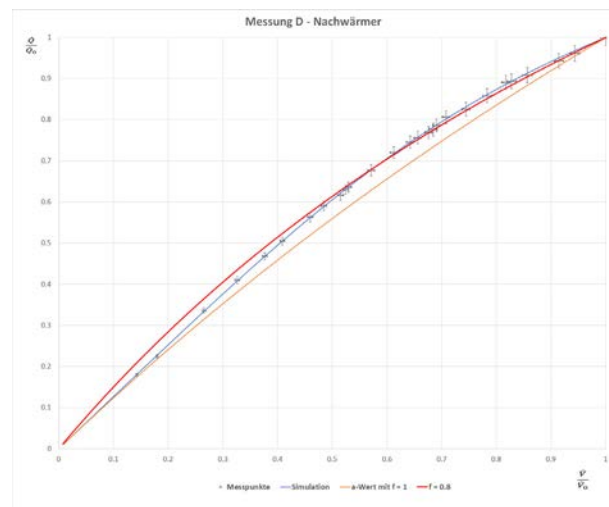


Abb. 2: Diagramm der Wärmeübertragerkennlinien



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Adina Hochuli
Prof. Dr. Beat Wellig
Teqtoniq GmbH
Dr. Andreas Lehr
Energie, Fluide und Prozesse**

Untersuchung von Massnahmen zur Effizienzsteigerung von Kälteanlagen mit Turboverdichter

Ausgangslage

Durch den weltweit steigenden Bedarf an Klimakälte nimmt das Interesse an hocheffizienten Klimakälteanlagen zu. Die Teqtoniq GmbH (Horw) entwickelt und produziert neuartige, gasgelagerte Turbokältemittelverdichter mit einer nominalen Kälteleistung von ca. 100 kW für den Einsatz in Klimakälteanlagen und Wärmepumpen (Abb. 2).

Das Ziel dieser Arbeit ist es, verschiedene effizienzsteigernde Anpassungen am Kältemittelkreislauf mit Hilfe von Simulationen zu untersuchen. Darauf aufbauend ist eine Handlungsempfehlung abzugeben, ob es technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist, die Teqtoniq-Turboverdichter zukünftig auf die zusätzlichen Anforderungen auszulegen.

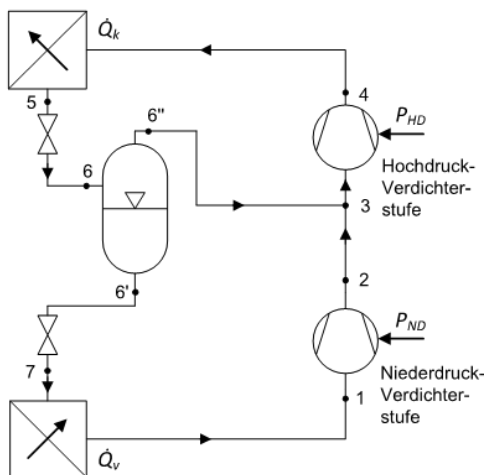


Abb. 1: Vielversprechendstes untersuchtes Konzept ist die Entspannung mit Mitteldruckgefäss

Vorgehen

In einem ersten Schritt wurden verschiedene Konzepte zur Effizienzsteigerung von Kälteanlagen erarbeitet. Die Konzepte basieren unter anderem darauf, dass zwischen den zwei Verdichtungsstufen Kältemittel zur Zwischenkühlung eingespritzt wird.

Anschliessend wurde ein Simulationsprogramm erstellt, welches ermöglicht die Effizienzsteigerung der erarbeiteten Konzepte in Klimakälteanwendungen zu quantifizieren. Im Simulationsprogramm wurden die Kältemittel R1234ze, R290 und R134a implementiert. Anhand von Parameterstudien wurde das Effizienzsteigerungspotenzial der Konzepte in verschiedenen Betriebspunkten untersucht. Das auf Basis der Parameterstudien identifizierte, vielversprechendste Konzept (Abb. 1) wurde anschliessend ausgelegt und zugehörige Grenzwerte (z.B. der Kältemittelmassenstrom für die Zwischenkühlung) berechnet.

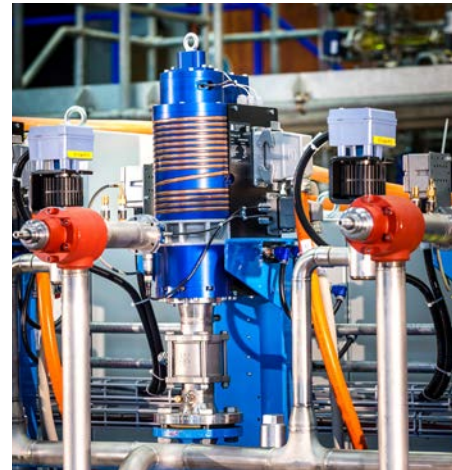


Abb. 2: Gasgelagerter Turboverdichter der Teqtoniq GmbH, eingebaut in einer Kälteanlage

Ergebnis

Das Konzept «Entspannung in ein Mitteldruckgefäss» erzielte in allen simulierten Betriebspunkten und mit den Kältemitteln R1234ze, R134a und R290 die besten Ergebnisse bezüglich Effizienzsteigerung. Die Jahresarbeitszahl einer Klimakälteanlage mit einer zusätzlichen Entspannung in ein Mitteldruckgefäss kann je nach Kältemittel um 2.5 - 2.7 % gesteigert werden (Abb. 3).

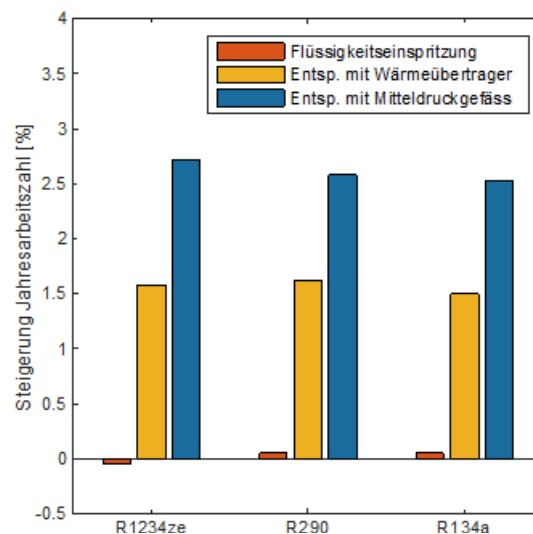


Abb. 3: Prozentuale Steigerung der Jahresarbeitszahl der verschiedenen Konzepte, simuliert mit den Kältemitteln R1234ze, R290 und R134a



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Manuel Holdener
Prof. Dr. Peter Gruber
Institut für Elektrotechnik
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller
Produktentwicklung & Mechatronik**

Tanksystem-Regelung für einen Laborversuch

Ausgangslage

Diese Bachelor-Thesis behandelt die Regelung eines Tanksystems auf der Grundlage von vorangehenden Arbeiten. Die Tankgeometrie kann mit Verdrängungskörpern verändert werden. Weiter können mehrere Tanks Parallel oder in Serie geschaltet werden. Der bestehende Aufbau ist zu überarbeiten. Für alle Varianten der Verdränger sollen die linearisierten Differentialgleichungen hergeleitet und die Regelung adaptiert werden. Durch eine Vorsteuerung ist das System für gewisse Fälle zu linearisieren. Es soll eine Zustandsregelung erstellt werden. Der optimierte Aufbau soll kostengünstiger werden, jedoch dem bestehenden Aufbau entsprechen.

Vorgehen

Als Erstes werden die Gleichungen hergeleitet und anschließend werden Simulationen ausgeführt. Darauf folgend wird die Software programmiert, damit Messungen durchgeführt werden können. Für die Optimierung des Aufbaus werden zuerst die Anforderungen definiert, danach werden Lösungen gesucht und mit diesen wird die Konstruktion erstellt. Bei den Verdrängungskörpern werden die Regelparameter nach Bereich der Höhe angepasst. Mit der Vorsteuerung können beim hyperbolischen Verdränger feste Parameter verwendet werden. Die Zustandsregelung mit Messung der Höhen aller drei Tanks wird mit einem verallgemeinertem P-Regler realisiert, bei welchem der Sollwert korrigiert wird,

um stationäre Genauigkeit zu erreichen. Als optimierte Konstruktion wird ein einteiliges Tanksystem vorgeschlagen (vgl. Abb. 3).

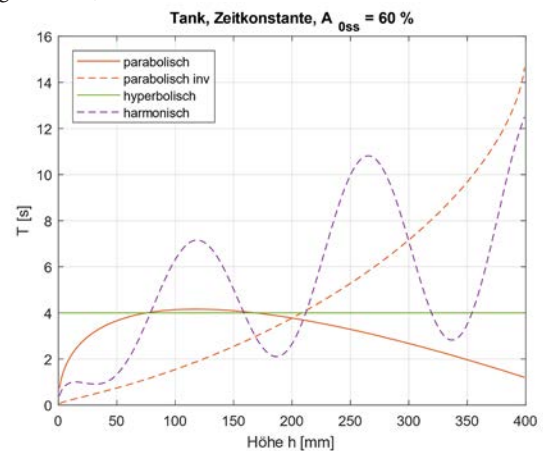


Abb. 2: Zeitkonstante für verschiedene Verdränger

Ergebnis

Mit der Pumpenregelung wird der Sollwert schnell erreicht. Die Regelung mit dem Abflussventil ist nicht zufriedenstellend (vgl. Abb. 1), da dieses eine hohe Totzeit besitzt. Bei der Vorsteuerung zeigen sich nur geringe Abweichungen von den Messungen zu den Simulationen. Die Zustandsregelung ist schnell und funktioniert besser als die direkte Regelung mit der Pumpe. Die Kosten des einteiligen Tanksystems sind geringer. Es sind Versuche zum Erhöhen der Geschwindigkeit des Ventils durchzuführen. Falls erfolgreich, müssen neue Regelparameter berechnet werden. Die Zustandsregelung ist für zwei Tanks zu prüfen. Die Herstellung der Versuchsaufbauten für die Verwendung im Labor ist fortzuführen.

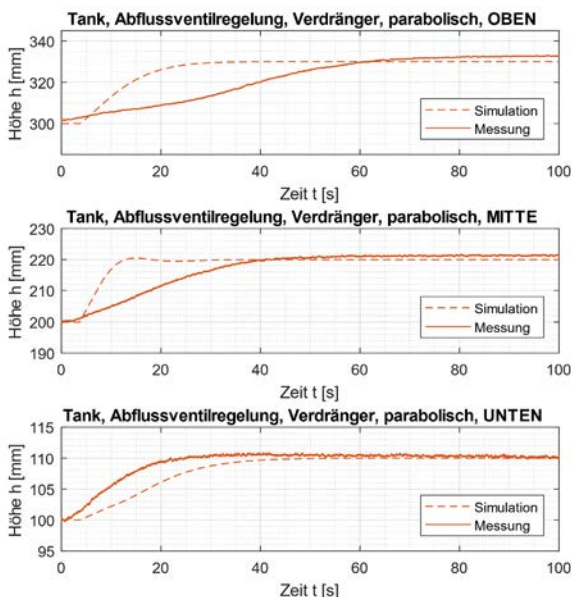


Abb. 1: Abflussventilregelung mit parabolischem Verdränger

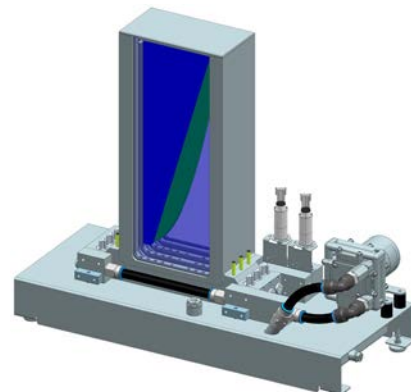


Abb. 3: Optimierter Aufbau mit einteiligem Tanksystem



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Patrick Huwiler
Prof. Ralf Legrand
SIGRIST-PHOTOMETER AG
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller
Produktentwicklung & Mechatronik**

Teilautomatisierung der Montage von Photometer zur Erhöhung der Produktivität

Ausgangslage

Die SIGRIST-PHOTOMETER AG möchte für zukünftige Produktnachfragen eine Erhöhung der möglichen Produktionsmengen anstreben. Dazu sollen bestimmte Montagevorgänge auf Ihre Eignung für eine mögliche Teilautomatisierung untersucht werden. Bei der Montage des Gehäusedeckels werden zurzeit in Handarbeit mehrere Verstärkungen sowie ein Dichtring auf die Innenseite des Gehäusedeckels verklebt. Für eine mögliche Automatisierung ist der Klebprozess zu untersuchen. Im Klebprozess werden mit einer Pinzette Optiklinsen mit einem Durchmesser von 3 - 35 mm in einem vorgefrästen Bauteil platziert. Mit dem über ein Fusspedal gesteuerten Dosiergerät wird der Kleber zu einer Klebnaht aufgetragen. Es werden ca. 50 verschiedene Bauteile mit unterschiedlichen Linsentypen und Linsendurchmesser verklebt. Bei speziellen Bauteilen muss zusätzlich der Klebstoff einer Linse vorab ausgehärtet sein bevor weitere Linsen verklebt werden können.

Vorgehen

Für diese Prozesse wurde ein Soll-Prozessplan erstellt. Anhand des Prozessplanes sind sechs mögliche Konzepte für eine Teil-/Vollautomatisierung erarbeitet worden. In einer Nutzwertanalyse wurden die Konzepte anhand von technischen und wirtschaftlichen Kriterien bewertet. Zusammen mit dem Industriepartner wurde entschieden, dass ein zweistufiges Konzept für den Klebprozess detaillierter auszuarbeiten ist. In der ersten Stufe (Abb. 1 blau markiert) werden die Linsen von Hand in die Bauteile eingesetzt und mittels eines robotergesteuerten Dosiersystems verklebt. Möchte man den Automatisierungsgrad weiter erhöhen, kann in einer zweiten Stufe das Einsetzen der Linsen mit einem Roboter mit Vakuumgreifer ausgeführt werden (Abb. 1 rot markiert).

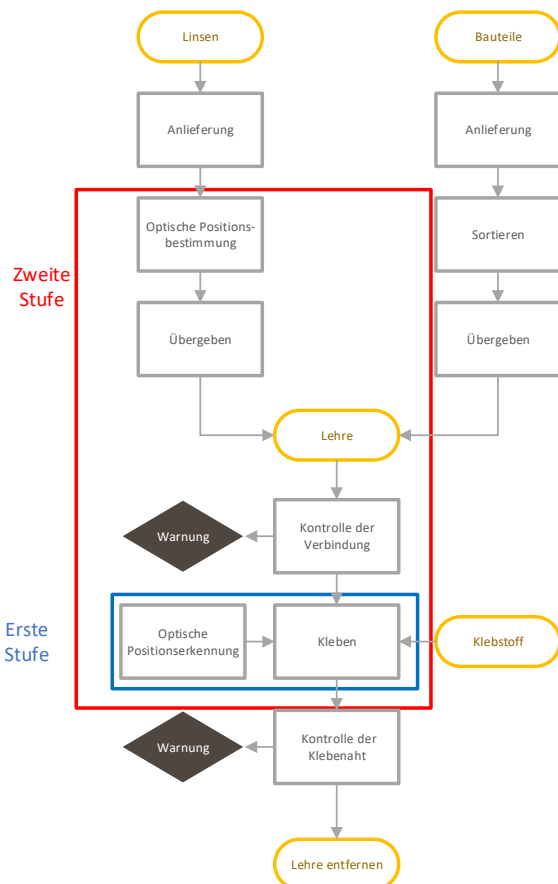


Abb. 1: Prozessplan Klebestation



Abb. 2: Dosiersystem Nordson

Ergebnis

Die Klebung wird mit einem automatisiertem 3-Achs-Dosiersystem der Firma Nordson realisiert. Für eine einfache Programmierung der Klebnaht kann das Dosiersystem mit der Kamera und einem Teach-Modus programmiert werden. Die Programme werden abgespeichert und nach Belieben wieder aufgerufen. Mit speziellen Lehren werden die Bauteile im Arbeitsbereich positioniert. Durch einen aufgeklebten QR-Code erkennt das Automatisierungssystem das zu fertigende Bauteil und lädt das korrekte Programm ohne manuelle Eingabe der Artikelnummer.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Dario Jenni
Dipl. Ing. FH Pierre Kirchhofer
ProSafety GmbH
B. Sc. ME Stephanie Janssen
Produktentwicklung & Mechatronik**

Versenkbares Dachgeländer für die Wartung von Photovoltaikanlagen

Ausgangslage

Bei der Wartung von Photovoltaik-Anlagen auf Flachdächern müssen sich die MitarbeiterInnen gegen den Absturz gesichert auf den Dächern bewegen können. Idealerweise wird für diese Absicherung ein Geländer am Dachrand installiert. Oft wird ein Geländer von den Architekten und Hausbesitzern aus ästhetischen Gründen nicht akzeptiert. Zudem können die Geländer zu einem Schattenwurf auf die Photovoltaik-Anlagen führen, welches eine Leistungsreduktion zur Folge hat. (Abb. 1)

Das Ziel dieser Arbeit ist, eine neuartige Entwicklung einer Geländer-Konstruktion unter Berücksichtigung der bestehenden Normierungen zu entwerfen. Das Geländer darf keinen Schatten auf die Photovoltaik-Anlagen werfen. Die Geländer-Konstruktion muss sämtlichen statischen Anforderungen genügen und versenkbar sein.

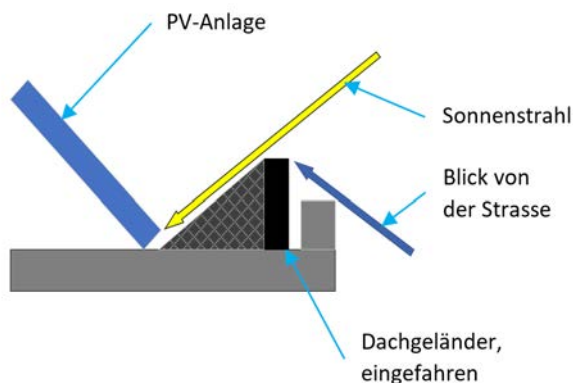


Abb. 1: Anforderungen

Vorgehen

Für die Konzeptentwicklung wurde die momentane Situation und die vorhandenen Richtlinien analysiert. Anschließend sind Grobkonzepte für den Einfahrmechanismus erstellt und mit einer Nutzwertanalyse bewertet worden. Aus der Bewertung kristallisierten sich zwei Lösungsvarianten heraus, welche vertieft analysiert wurden. Die endgültige Lösungsvariante und der dazu passende Antrieb sind mittels einer Vor- und Nachteilanalyse bewertet und ausgewählt worden.

Ergebnis

Die ausgewählte Lösungsvariante ist ein Geländer, welches aus einem Scheren-Einfahrmechanismus (Abb. 2) besteht. Dabei werden die Diagonalen auf einer Seite des Geländers befestigt und auf der anderen Seite geführt. Wenn die Diagonale in der Führung nach links verschoben wird, hebt sich das Dachgeländer auf die definierte Höhe. Der Antrieb erfolgt über einen Getriebemotor, welcher durch ein Ritzel und Zahnstange das Geländer anhebt oder senkt.

Mit dem CAD-System Siemens NX wurde die Lösungsvariante modelliert. Zudem wurden entsprechende Zeichnungen für die Herstellung und Montage erstellt. Durch Festigkeitsberechnungen wurden die kritischen Einzelteile überprüft. Die Material- und Herstellungskosten wurden mit einer Kostenanalyse geprüft.

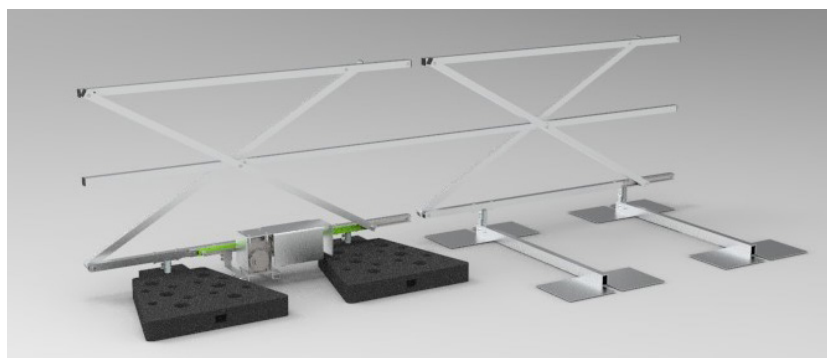
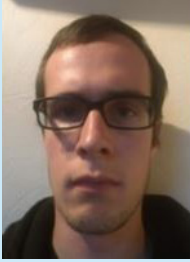


Abb. 2: Dachgeländer



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Markus Kempf
Dipl. Ing. ETH Marco De Angelis
GALVABAU AG
Dr. Giovanni Mastrogiacommo
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung eines Robotergreifers für die automatische Leiterplattenbestückung

Ausgangslage

Mit Galvanikautomaten der Firma GALVABAU AG werden Leiterplatten hergestellt. Bei modernen Anlagen läuft der grösste Teil des Prozesses vollautomatisiert. Einzig die Bestückung der Anlage mit den Leiterplatten erfolgt noch von Hand. Für die Neukonzipierung der Be- und Entladestation soll ein Greifer für einen Knickarmroboter entwickelt werden, der es ermöglicht, die Anlage vollautomatisch mit Leiterplatten zu bestücken. Dabei werden die Leiterplatten mithilfe von sogenannten Kopfklammern auf einem Warenträger befestigt. Parallel zur Entwicklung des Greifers arbeitete noch eine dreiköpfige Studentengruppe der ABB-Technikerschule an einem Konzept für die dazugehörige Roboterzelle inklusive Anlieferung der Leiterplatten.



Abb. 1: Bestehende Ladestation mit automatischem Entladen

Vorgehen

Anhand bestehender Anlagen wurde eine Anforderungsliste für den Greifer erstellt. Der Greifer wurde in einzelne Teilfunktionen zerlegt und für diese Lösungen entwickelt. Mithilfe einer Morphologie wurden die Lösungsansätze zu vier Grobkonzepten zusammengeführt und durch eine Analyse der Vor- und Nachteile das beste Konzept ausgewählt. Durch Berechnungen und Simulationen wurden die einzelnen Bauteile dimensioniert und die Herstellunterlagen erstellt.

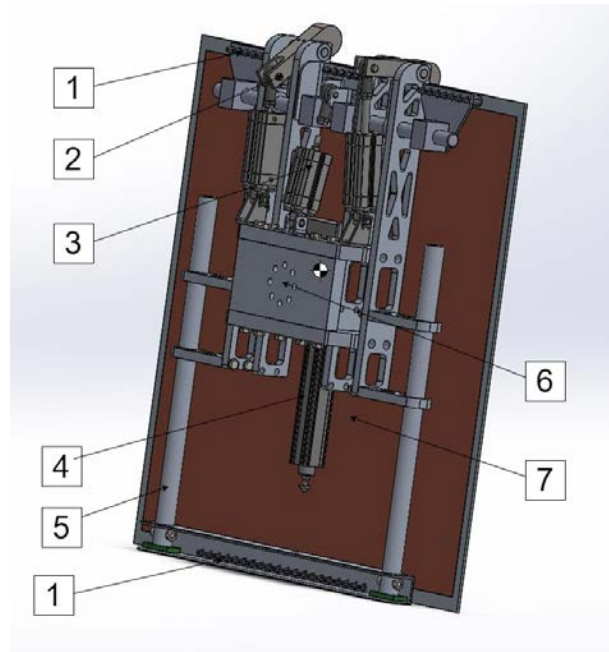


Abb. 2: Kompletter Greifer: (1) Vakuumsauger, (2) Klemmhebel, (3) Schwenkeinheit, (4) Linearaktuator, (5) Führung, (6) Flanschanschluss, (7) Leiterplatte

Ergebnis

Das erstellte Modell des Greifers kann Leiterplatten von 18 – 24 Zoll handhaben (Abb. 2). Zuerst wird die Leiterplatte (7) mithilfe von Vakuumsaugern (1) gegriffen und angehoben. Als nächstes wird durch Klemmhebel die Platte festgeklemmt. Um Kollisionen mit den Kopfklammern zu verhindern, können die Sauger auf der Oberseite mit der Schwenkeinheit (3) weggeschwenkt werden. Die Anpassung des Greifers an die unterschiedlichen Leiterplattenformate erfolgt mit einem Linearaktuator (4). Um ein Verdrehen zu verhindern sind zusätzlich zwei Führungen (5) eingebaut. Der Greifer wird mit einem Flansch (6) an den Knickarmroboter angeschraubt.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Matthias Kilchenmann
Dipl. Ing. FH Pierre Kirchofer
Hochschule Luzern T&A
B. Sc. ME Stephanie Janssen
Produktentwicklung & Mechatronik**

Erstellen eines «Digital Twins» der Lernfabrik 4.0

Ausgangslage

Die Hochschule Luzern, Technik und Architektur bietet ab Herbst 2020 den neuen Studiengang Digital Engineering an. Um den Studierenden ein praxisbezogenes Umfeld zu bieten, wird die Lernfabrik 4.0 von Fischertechnik AG beschafft. Eine digitalisierte Version dieser Lernfabrik soll als zusätzliches Lernmittel erstellt werden. Zu diesem Zweck soll eine CAD-Datei erstellt werden, welche die einzelnen Arbeitsprozesse der Lernfabrik darstellen kann. Diese Datei soll einen modularen Aufbau besitzen, um die Erweiterbarkeit der Lernfabrik zu gewährleisten. Es soll ein eigenes Modul konstruiert werden, welches in die Lernfabrik integriert werden kann.



Abb. 1: Lernfabrik 4.0 von Fischertechnik

Vorgehen

Die CAD-Daten der Lernfabrik wurden von der Fischertechnik AG für diese Arbeit zur Verfügung gestellt. Zeichnungen und Ergänzungen zum Modell wurden mithilfe der CAD-Software Siemens NX getätigt. Das neue Modul wurde mittels eines standardmässigen Entwicklungsprozesses eruiert, wobei drei Konzepte entstanden. Das favorisierte Konzept einer Folierstation wurde ausgewählt. Diese wurde mit der CAD-Software entwickelt, konstruiert und in die CAD-Baugruppe der Lernfabrik implementiert.

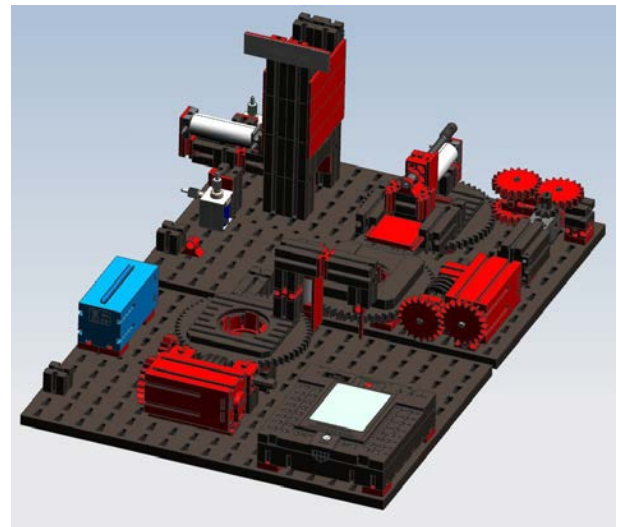


Abb. 2: Aufbau der Folierstation

Ergebnis

Das Modell wurde mit der Möglichkeit ausgestattet, den Prozess der Lernfabrik darzustellen und kann so für den neuen Studiengang verwendet werden. Das Modul für die Erweiterung der Lernfabrik ist eine Folierstation, welche das Bauteil der Lernfabrik in Folie einwickelt. Das Modul wurde im CAD modelliert und kann nach Bedarf hergestellt werden. Mit ein paar wenigen Anpassungen am bestehenden Modell kann dieses Erweiterungsmodul in die Lernfabrik implementiert werden. Zudem wurde das Modell der Lernfabrik so erweitert, dass zwischen der Grundausstattung der Fabrik und der Fabrik mit eingebauter Folierstation gewechselt werden kann. Der Prozessablauf wird dementsprechend angepasst.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Tobias Kipfer
Prof. Dr. Luca Mangani
Institut IME, CC FMHM
Dr. Joel Schlienger
Energien, Fluide und Prozesse

Topologieoptimierung mittels dichtebasierter Adjoint Methode

Ausgangslage

Um strömungsrelevante Geometrien zu verbessern braucht es Versuche und Tests mit aufwändigen Testmodellen. Dies ist ein zeit- und kostenintensiver Prozess. Heutzutage bieten CFD-Programme die Möglichkeit, diesen Prozess mit Simulationen zu beschleunigen. Testmodelle werden damit nicht ersetzt, aber die Notwendigkeit dafür kann signifikant gesenkt werden. Jedoch ist selbst mit CFD das Verbessern von Bauteilen ein aufwändiger Prozess. Dabei kommen komplexe Optimierungsalgorithmen zum Einsatz. Während bei der Formoptimierung eine gegebene Geometrie verformt wird, benötigt die Topologieoptimierung lediglich eine grobe Begrenzung der Bauform und sucht darin nach der strömungstechnisch optimalen Topologie. Jeder Zelle eines Netzes wird dazu eine Porosität zugeschrieben, welche die Durchlässigkeit der Zelle beschreibt. Der Optimierungsalgorithmus sucht dann nach der Porositätsverteilung mit den geringsten Verlusten. Generell werden gradientenbasierte Optimierungsalgorithmen verwendet. Um die Gradienten für grosse Netze mit realistischem Aufwand berechnen zu können, kommt die Adjoint Methode zum Einsatz.

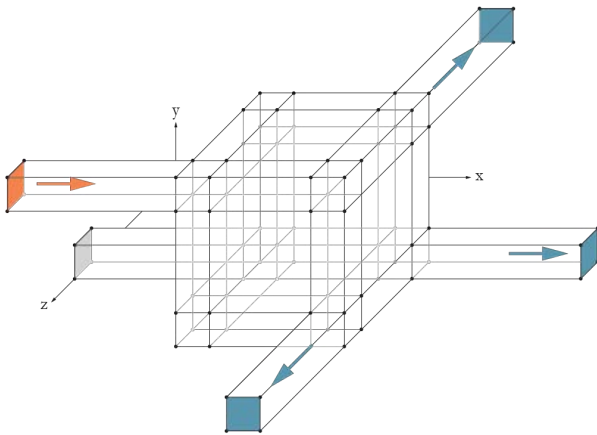


Abb. 1: Dreidimensionale Geometrie mit einem Inlet und drei Outlets. Das zu optimierende Gebiet ist der Würfel in der Mitte

Vorgehen

Die Hochschule Luzern besitzt einen eigenen Optimierer, der die diskrete Adjoint Methode verwendet. Damit ist eine Topologieoptimierung für dreidimensionale Fälle möglich. Für eine erfolgreiche Optimierung werden die Werte von mehreren Parametern benötigt. Um den Einfluss der Parameter und die Wahl von korrekten Werten zu ermitteln wurde mit einem zweidimensionalen Testfall eine

Parameterstudie durchgeführt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse halfen bei der Optimierung eines dreidimensionalen Falles.

Für eine praktische Anwendung ist die Rekonstruktion einer Geometrie aus dem Ergebnis der Topologieoptimierung relevant. Für diese Umsetzung wurde ein Verfahren mit zwei Softwareanwendungen getestet und umgesetzt.

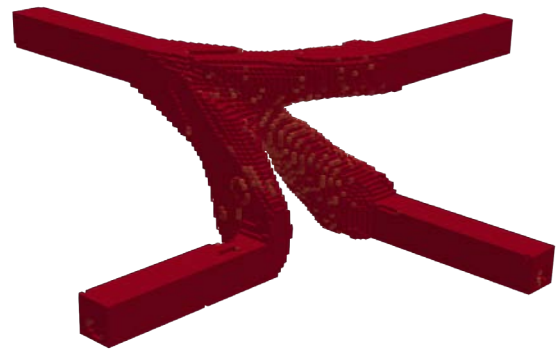


Abb. 2: Das Ergebnis aus der Topologieoptimierung

Ergebnis

Der Optimierer der HSLU konnte für beinahe alle getesteten Fälle eine erfolgreiche Topologieoptimierung durchführen. Die Wahl der benötigten Parameter stellte sich dabei als Schwierigkeit heraus. Anhand der Parameterstudie konnten keine allgemeinen Formulierungen für die Berechnung aufgestellt werden. Für erste Schätzungen können die Erkenntnisse dennoch hilfreich sein. Die getestete Methode für die Geometrierückführung stellte sich als effizient heraus.

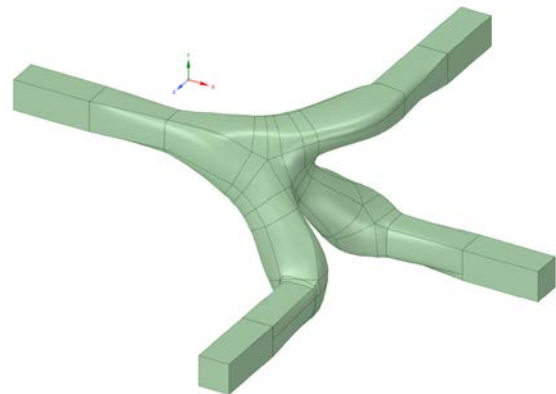


Abb. 3: Rekonstruierte Geometrie aus dem Ergebnis der Topologieoptimierung



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Yannik Krabben
Prof. Dr. Ludger Fischer
Institut IME, CC Mechanische Systeme
Dr. Kai Lieball
Energien, Fluide und Prozesse

Thermische Auslegung eines neuartigen 3D-Druckkopfes für die additive Fertigung

Ausgangslage

Die additive Fertigung findet zunehmend vielfältige Anwendung in der Industrie und sogar in unserem Alltag. Kein anderes Produktionsverfahren erlaubt derart komplexe Geometrien herzustellen wie die additive Fertigung. Ein Verfahren der additiven Fertigung ist die Produktion durch Schmelzschichtung (FDM). Bei diesem Verfahren wird ein Material durch Wärmeinleitung aufgeschmolzen und in Schichten auf eine Oberfläche aufgetragen, bis eine dreidimensionale Geometrie entsteht. Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch, dass die Qualität eines gedruckten Modells proportional zur Druckzeit ist. Ein Drucker weist meist nur einen einzigen Düsendurchmesser auf. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Druckkopf zu entwickeln, der bei gleichbleibender Druckqualität die Druckzeit erheblich reduziert. Der Kopf muss die Möglichkeit beinhalten, jederzeit zwischen mindestens drei unterschiedlichen Düsen wechseln und diesen Düsen drei frei wählbare Materialien zuordnen zu können. Somit könnten ein grosser Düsendurchmesser mit einer hohen Druckgeschwindigkeit für Füllstrukturen und ein kleiner Düsendurchmesser für eine präzise Aussenwand der Geometrie genutzt werden.

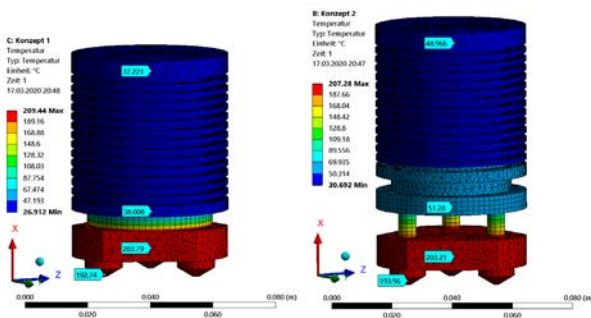


Abb. 1: Konzeptvergleich

Vorgehen

In einem ersten Schritt werden aktuelle Druckköpfe und die Prozesse in diesen analysiert. Anschliessend werden Konzepte, die den Anforderungen gerecht werden, ausgearbeitet und anhand thermischer Simulationen bewertet. Schlussendlich wird ein einzelnes Konzept ausgewählt, ausgearbeitet und hergestellt. Durch praktische Versuche wird die Performance des neuen Druckkopfes untersucht.



Abb. 2: Endkonzept

Ergebnis

Es zeigte sich, dass die Vorgänge in einem Druckkopf weitaus komplizierter sind als erwartet und dass das Einbringen einer Rotationsbewegung eine grosse Herausforderung darstellt. Über mehrere Iterationen wurde der Druckkopf stetig verbessert, bis qualitativ hochwertige Druck-Geometrien hergestellt werden konnten. Es wurde ein Druckkopf entwickelt, der nicht nur drei unterschiedliche Materialien drucken kann, sondern auch ein funktionierender Materialwechsellvorgang beinhaltet.

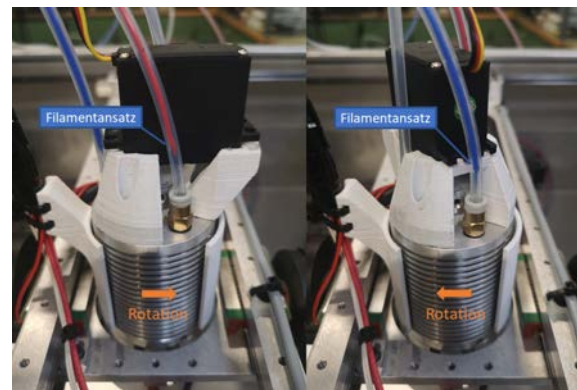


Abb. 3: Funktionsfähiger Prototyp



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Lukas Kron
Prof. Dr. Mirko Kleingries
Bezirk Küsnacht
Dipl. Ing. FH Lukas Gasser
Energien, Fluide und Prozesse

Untersuchung der Seewasser-Wärmenutzung des Bezirkes Küsnacht

Ausgangslage

Die Arbeit befasst sich mit der Überbauung Seematt in Küsnacht am Rigi. Im Rahmen der letzten Sanierung wurde der Ölbrenner durch drei baugleiche Wasser/Wasser-Wärmepumpen ersetzt. Der nahegelegene Vierwaldstättersee dient dabei als Energiequelle. Eine Nahwärmeleitung verbindet die einzelnen Gebäude untereinander.

Aufgrund ersten Auswertungen durch den Bezirk wurden hohe Verluste von bis 22 % sowie tiefe Arbeitszahlen zwischen 1.5 - 2.5 festgestellt. Deshalb wurde die gesamte Anlage durch die Hochschule Luzern genauer untersucht.

Ergebnis

Die Analyse ergab Verluste von rund 13.46 % und eine Arbeitszahl von 2.91. Beide Werte liegen im Rahmen der Normwerte und widerlegen dabei die ersten Resultate des Bezirkes. Die spezifischen Zielvorgaben von 10 % Verlust bzw. einer Arbeitszahl von 3.0 werden aber nicht erreicht.

Die Anlage weist diverse Optimierungsmöglichkeiten auf. So sind die Wärmepumpen um einen Faktor zwei überdimensioniert, da die ursprünglich geplante Anschlussdichte nicht erreicht wird (Anschluss Altersheim nicht realisiert).

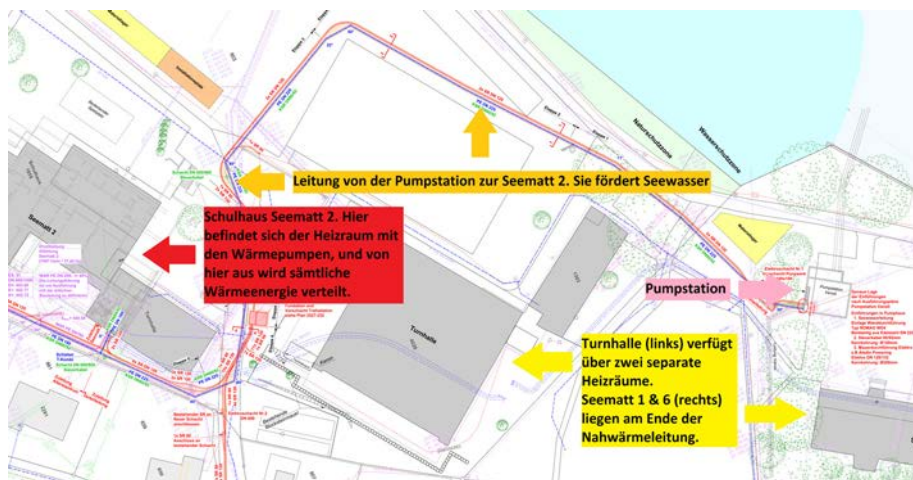


Abb. 1: Überbauung Seematt aus der Vogelperspektive

Vorgehen

Die Überbauung wurde mit diversen Energiezählern ausgestattet, welche für die messtechnischen Untersuchungen ausgewertet werden konnten. Zur Analyse der Nahwärmeleitung und ihrer Verluste wurden separate Messungen mit Pt-100 Temperatursensoren zur Messung der Vor- und Rücklauftemperatur sowie ein Volumenstrommessgerät (Fluxus) eingesetzt. Die Datenauswertung und Visualisierung der Grafiken wurden mit Python und den Pandas-Bibliotheken erarbeitet.

Sie sind zudem nicht kontinuierlich leistungsgeregelt. Der Sole-Zwischenkreislauf der Anlage vermindert die Effizienz der Wärmepumpen um weitere 2.7 %, und die Turnhalle verfügt unnötigerweise über zwei Heizräume mit je einem Brauchwarmwasser-Speicher. Des Weiteren ergab eine erste Berechnung, dass der Einsatz von Luft/Wasser-Wärmepumpen über weite Strecken dieselbe Effizienz aufweist.

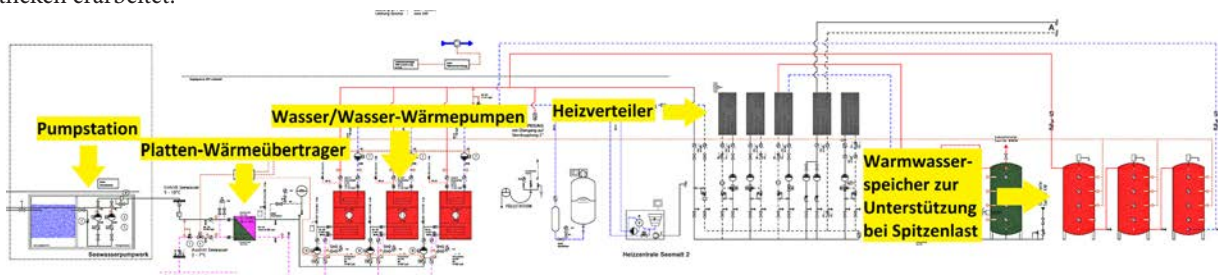


Abb. 2: Auszug aus dem technischen Schema (ohne Nahwärmeleitung)



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Florin Langenegger
Dipl. Ing. ETH Marco De Angelis
maxon motor ag
Dr. Giovanni Mastrogiacomo
Produktentwicklung & Mechatronik**

Optische Qualitätsprüfung in der EC-Motorproduktion

Ausgangslage

Viele Qualitätskontrollprozesse werden in der maxon motor ag durch optische Beurteilung von Produktionsangestellten durchgeführt. Bei dieser Art der Kontrolle kommen menschliche Faktoren wie Müdigkeit, Gemütsverfassung oder Gesundheit unvermeidlich ins Spiel. Um diese zu eliminieren, wird eine automatische Qualitätsprüfung in Betracht gezogen.

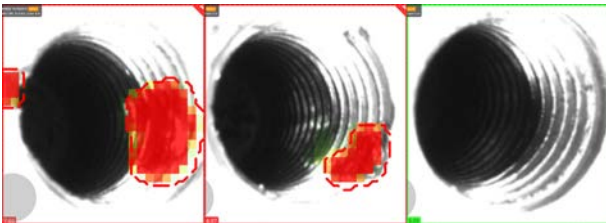


Abb. 1: Automatisch erkannte Fehlstellen in einem Gewinde mittels KI-basierter Software

Vorgehen

Im Rahmen der Arbeit wurden Prozesse, in denen Klebstellen, Oberflächen, Gewinde (Abb. 1) und Lötstellen auf ihre Qualität geprüft werden, näher analysiert, wobei der Fokus auf der Klebstellenprüfung lag. Neben den konventionellen Methoden der Bildverarbeitung wurde auch Bildverarbeitungssoftware auf Basis künstlicher Intelligenz miteinbezogen. Weiter wurde die Arbeit durch ein theoretisches Gerüst gestützt, um das nötige Wissen zu vermitteln, welches neben der richtigen System-Wahl auch die Beurteilung der bestehenden Entwicklungs-Optionen dieser Technologien ermöglicht.

Im Vorfeld wurde eine Technologierecherche durchgeführt, um die aktuell möglichen Technologien aufzuzeigen. Basierend auf den Erkenntnissen der Recherche wurde die Marktrecherche durchgeführt, bei welcher untersucht wurde, welche der Technologien auch tatsächlich auf dem Markt verfügbar sind und inwiefern diese für die maxon motor ag Relevanz haben. Parallel zur Marktrecherche wurden diverse Lieferanten kontaktiert um Machbarkeitsanalysen in die Wege zu leiten.

Ausgehend von den gesammelten Informationen wurden Versuche geplant und durchgeführt mit dem Ziel, die Tauglichkeit zu bestätigen oder zu widerlegen (Abb. 2).

Durch eine Nutzwertanalyse wurden die getesteten Systeme evaluiert, wodurch schlussendlich die Empfehlung eines Systems möglich wurde.

Ergebnis

Basierend auf den durchgeführten Tests konnten die verfügbaren Systeme hinsichtlich der verschiedenen Anwendungen verglichen und bewertet werden. Es zeigte sich, dass Potential vorhanden ist, die Qualitätsprüfung mit Bildverarbeitungssoftware zu bewältigen. Die Klebstellenprüfung wurde dabei am intensivsten behandelt, da dieser im Vorfeld die grösste Priorität zugewiesen wurde.

Für die untersuchten Prozesse der Klebstellen, Oberflächen und Lötstellen in dieser Arbeit waren die konventionellen Bildverarbeitungssysteme treffender als diejenigen auf Basis künstlicher Intelligenz. Für die Gewindeprüfung stellte sich eine Machine Learning Anwendung als geeignetste Lösung heraus, da dies mit regelbasierten Systemen nur sehr schwierig umsetzbar ist.

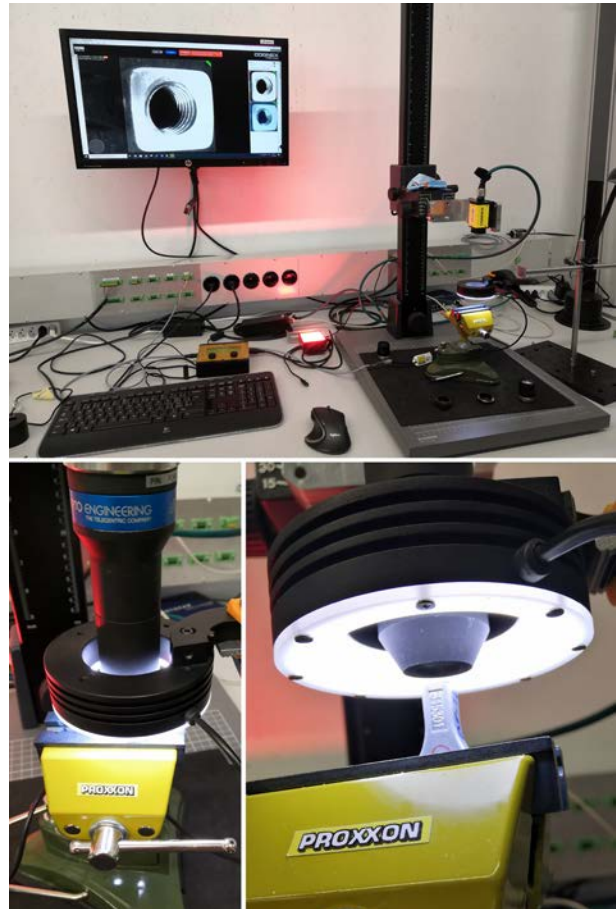


Abb. 2: Einer der Versuchsaufbauten, hier die Gewindeüberprüfung



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Richard Lötscher
Dipl. Ing. ETH Marco de Angelis
Eigenes Projekt des Diplomanden
Dr. Giovanni Mastrogiacomo
Produktentwicklung & Mechatronik

Echtzeitpositionsbestimmung in der Ebene zur Regelung eines autonomen Markiersystems

Ausgangslage

In der Baubranche werden Bodenmarkierungen zur Positionsbestimmung von Mauern, Säulen, Durchbrüchen, Einrichtungen etc. standardmässig manuell angebracht. Der Aufwand und die körperliche Belastung für das Personal sind beachtlich. Fehler gehören zum Alltag und führen zu beträchtlichen finanziellen Aufwänden. Die Bodenmarkierungen sollen mittels eines autonomen Markiersystems angebracht werden.

Bei der Entwicklung eines solchen Systems stellt die Regelung der Position eine technische Herausforderung dar. Die Abweichungen sollen bei einer zu markierenden Fläche, die zunächst 20 x 20 Metern beträgt, nur wenige Millimeter betragen.

Diese Arbeit befasst sich mit der Echtzeitpositionsbestimmung in der Ebene, welche die Regelung des Markiermoduls ermöglichen soll und somit die Positionsgenauigkeit der Bodenmarkierungen relativ zur Markierfläche definiert.

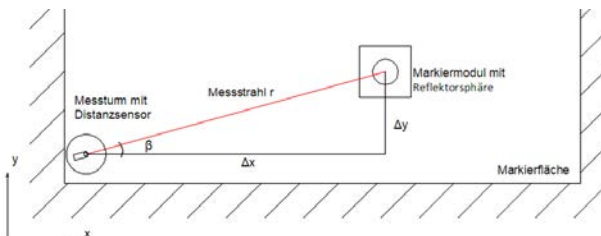


Abb. 1: Autonomes Markiersystem für Flächen bis 20 x 20 m. Low-Cost-Variante

Vorgehen

In einem ersten Schritt hat man eine «Low-Cost-Variante» zur Positionsbestimmung definiert, die aus einem sogenannten Messturm und einem Reflektor besteht (Abb. 1). Das CAD Modell wurde erstellt und die einzusetzenden Komponenten gewählt. In einem zweiten Schritt hat man ein Funktionsmuster gebaut (Abb. 2). Mit Hilfe von statistischen Auswertungsverfahren (Maschinenfähigkeitsuntersuchungen) wurde das Funktionsmuster auf die erreichte Stabilität, Genauigkeit und Reichweite untersucht. Im Vordergrund stand die Validierung der eingesetzten Komponenten und der erarbeiteten Software sowie deren Zusammenspiel.

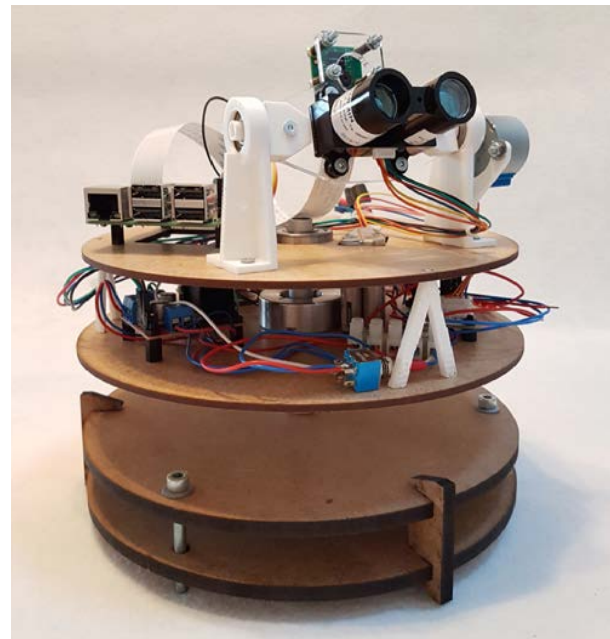


Abb. 2: Funktionsmuster des Messturms

Ergebnis

Anhand der statistischen Auswertungen kann abgeleitet werden, dass durch den Einsatz hochwertiger Komponenten die Platzierung der Bodenmarkierungen mit einer Toleranz von ± 10 mm auf einer Fläche von 20 x 20 m möglich ist.

Das Zusammenspiel der Mechanik (Auflösung der Schrittmotoren / Getriebe) und die Bildauflösung zur Objekterkennung ist entscheidend für die kinematische Leistung des Systems. Durch den Einsatz optischer Komponenten zur Objekterkennung zeigt das System in Abhängigkeit der Helligkeitsänderungen im eingesetzten Umfeld ein instabiles Verhalten, was zu Ungenauigkeiten führen kann. In dunkleren Umgebungen führen Reflektionsflächen (Scheiben, nasse Oberflächen, Platten etc.) ebenfalls zu instabilem Verhalten.

Für eine kommerzielle Anwendung bedarf es einer Weiterentwicklung, wobei technische Möglichkeiten zur Realisierung vorhanden sind.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Marko Lovrinovic
Dipl. Ing. FH Pierre Kirchhofer
Pavese AG, Präzisionsmechanik
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller
Produktentwicklung & Mechatronik**

Modulares Komplettwerkzeuflager mit Reinigungsstation

Ausgangslage

Die Firma Pavese AG, mit Sitz in Schenkon (LU), besitzt einen Maschinenpark von etwa 20 CNC- Fräs- und einigen Drehmaschinen. Da die Firma Pavese AG in verschiedenen Fachbereichen tätig ist und eine Vielzahl an Bauteilen herstellt, sind Werkzeuge in hoher Anzahl und von diversen Einsatzbereichen notwendig. Um in Zukunft beim Rüsten und Suchen der Werkzeuge Zeit zu sparen, möchte die Pavese AG ein zentrales Werkzeuflager realisieren. Dieses soll, um den gesamten Prozess zu beschleunigen, vollautomatisch funktionieren. Ausserdem soll durch das Lager eine gute Übersicht der vorhandenen Werkzeuge generiert werden. Die Firma Pavese AG führt vier verschiedene Werkzeughaltertypen: SK40, SK30, HSK63 und HSK40.

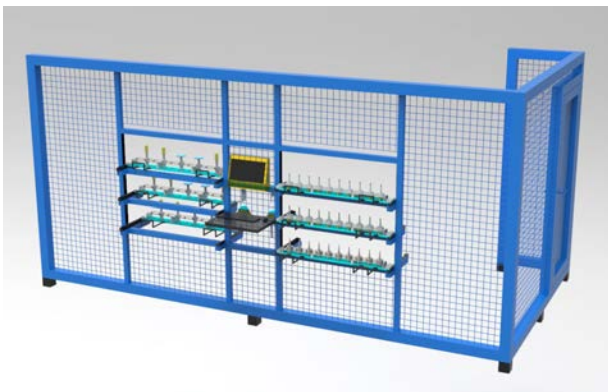


Abb. 1: Schutzzaun mit Entnahme- und Aufnahmestation

Vorgehen

In einer ersten Phase wurden fünf mögliche Konzepte für ein Werkzeuflager erstellt. Es stellte sich jedoch heraus, dass bei keinem der Varianten die Kapazität von 1500 Plätzen erreicht werden konnte, da der Platz, welcher zur Verfügung gestellt wurde, zu klein war.

Anschliessend wurde ein komplett neues Konzept erarbeitet, für welches ein anderer Standort in der Pavese AG vorgesehen war. Dieses Konzept wurde auch als Hauptlösung weiterverfolgt.

Mit diversen Firmen wie Kardex, KUKA, Stäubli AG, ITEM, MDM Tooling und Schunk wurde die Hauptlösung detailliert erarbeitet und im CAD modelliert.

Es wurde zusätzlich eine ausführliche Kostenanalyse durchgeführt, welche zeigen sollte, ob die hohe Investition für die Firma Pavese AG sinnvoll ist.

Ergebnis

In diesem Projekt entstand ein Konzept für ein modulares Komplettwerkzeuflager, welches in der Pavese AG in nächster Zeit umgesetzt werden könnte. Dieses beinhaltet ein Werkzeuflager des Herstellers Kardex Remstar. Der Werkzeugtransport geschieht über einen Knickarmroboter des Herstellers KUKA. In der Hauptlösung ist ein Greifsystem des Herstellers Schunk vorgesehen. Die notwendigen Greiffinger wurden in Eigenregie konstruiert und hergestellt. Ausserdem bietet die Hauptlösung ein Schutzgitter des Herstellers ITEM, welches zusätzlich eine Entnahme- und Aufnahmestation besitzt (siehe Abb. 1). Diese ist so konstruiert, dass die Pavese AG die Entnahme- und Aufnahmestation selber herstellen kann, um Kosten zu sparen.

Die Kostenanalyse hat gezeigt, dass die Pavese AG mit Investitionskosten von über 200'000 CHF rechnen muss. Jedoch ist laut den Berechnungen dieser Betrag nach 4.98 Jahren amortisiert. Die Firma Pavese AG wird durch die Anschaffung des vollautomatisierten Komplettwerkzeuflagers deutlich an Attraktivität auf dem Arbeitsmarkt gewinnen. Für die Mitarbeiter ergibt sich während des Arbeitsalltags eine komfortable und deutlich strukturiertere Situation im Bereich der Beschaffung von Werkzeugen.

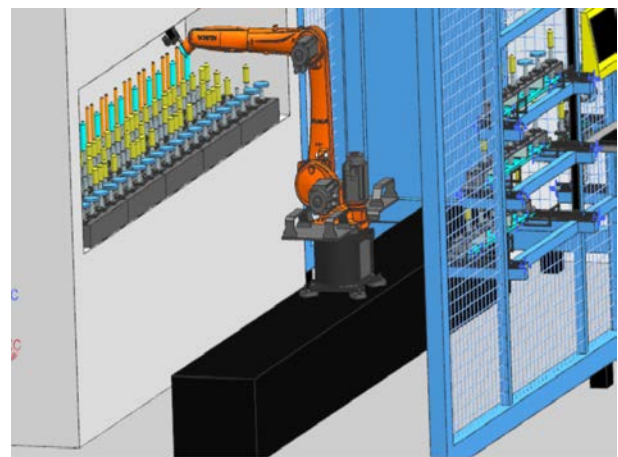


Abb. 2: Knickarmroboter beim Kardex-Lager



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Jonas Luggen
Prof. Dr. Thomas Nussbaumer
Lonza AG
Dr. Peter Neuenschwander
Energien, Fluide und Prozesse**

Analyse und Optimierung Fernwärmenetz Visp

Ausgangslage

Die Lonza AG betreibt zusammen mit der Gemeinde Visp seit knapp 30 Jahren ein Fernwärmenetz, welches mittels Abwärme von drei verschiedenen Betrieben der Lonza AG versorgt wird. Bis heute sind rund 145 öffentliche sowie private Liegenschaften an das Fernwärmenetz angeschlossen. Aufgrund der Energiestrategie 2050 soll vermehrt auf die einheimische erneuerbare Energie zugegriffen werden. Dadurch steigt die Nachfrage für Neuanschlüsse ans Fernwärmenetz Visp. Ziel dieser Arbeit ist es, das Fernwärmenetz zu analysieren, sowie das Erweiterungs- und Optimierungspotenzial aufzuzeigen.

Vorgehen

Zu Beginn wurden alle benötigten Daten für die Ist-Zustandsanalyse zusammengetragen. Mit diesen Daten konnte anschliessend die Seite der Wärmeerzeugung sowie jene der Wärmeabnehmer analysiert werden. In einem weiteren Schritt wurden die Daten im Software-Tool THENA eingetragen. Die Simulation soll das gesamte Fernwärmenetz realitätsgetreu darstellen. Auf Basis der Ist-Zustandsanalyse wird das Optimierungspotenzial aufgezeigt und erläutert, inwieweit das Fernwärmenetz noch ausgebaut werden kann. Dies wird zum Schluss mit einer wirtschaftlichen Beurteilung bewertet.

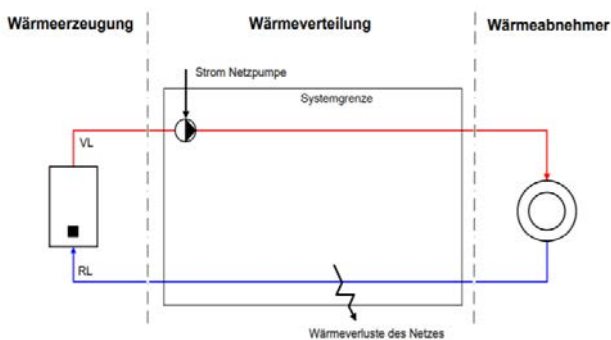


Abb. 1: Systemgrenze für die Berechnung des Fernwärmenetzes. VL= Vorlauf, RL= Rücklauf

Ergebnis

Es stellte sich heraus, dass ein Verbesserungspotenzial bei den Wärmeabnehmern liegt. Viele Hausstationen liefern eine zu kleine Temperaturspreizung. Dies muss mit dem Durchfluss kompensiert werden. Durch die Optimierung der 10 schlechtesten Hausstationen auf eine Temperaturspreizung von 30 K könnte die Netzkapazität um 9.7 % erhöht werden. Die Analyse mittels THENA hat ergeben, dass das Netz je nach Teilstrang unterschiedliche freie Kapazitäten anhand der bestehenden Rohrdimensionen aufweist. Ohne die Wärmezentrale ausbauen zu müssen, könnte das Fernwärmenetz noch zu 9.4 % erweitert werden. Für die Investitionen zur Ausschöpfung des Potenzials ergibt sich dabei eine Amortisationszeit von 3.8 Jahren.

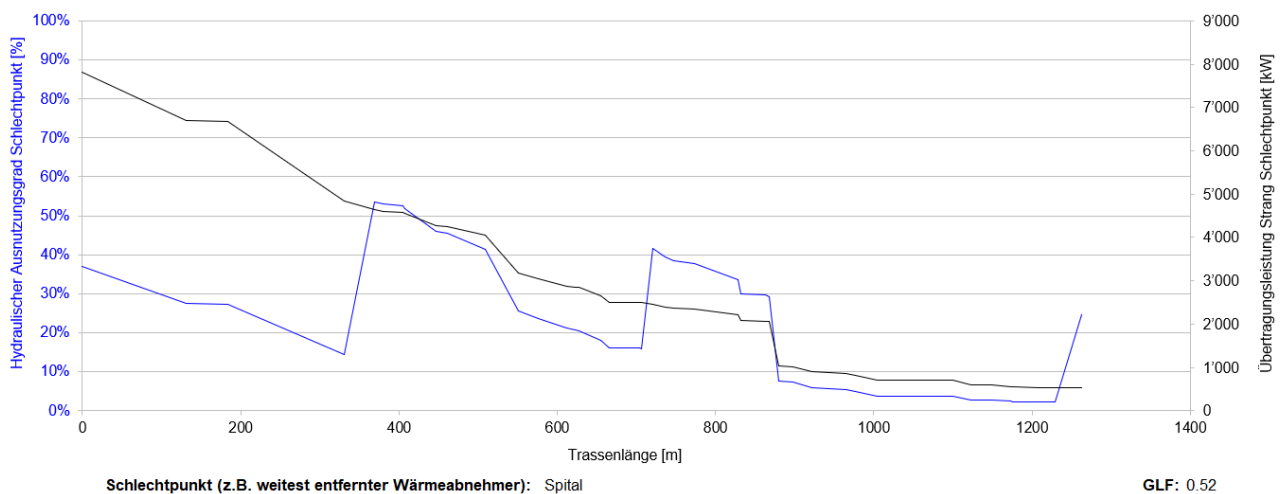


Abb. 2: Grafische Auswertung der Netzcharakteristik für den definierten Schlechtpunkt eines Teilstranges mittels THENA. Blau = Hydraulischer Ausnutzungsgrad, Schwarz = Übertragungsleistung



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Christof Lustenberger
Prof. Dr. Johann Lodewyks
Bucher Hydraulics AG
Dipl. Ing. FH Roger Dubach
Produktentwicklung & Mechatronik**

Inbetriebnahme einer Belastungseinheit für Hydrauliksysteme bei Traktoren

Ausgangslage

Bucher Hydraulics stellt viele Komponenten für die Landtechnik-Industrie her. Der Zustand von Hydraulikpumpen in Landmaschinen wird fast ausschliesslich mithilfe von mechanischen Belastungsgeräten bestimmt. In diesem Fall verändert die Prüfperson die Belastung des Hydrauliksystems mit einer mechanisch einstellbaren Drossel. Moderne Load-Sensing-Systeme können mit diesem Prüfgerät jedoch nicht getestet werden. Ein weiterer Nachteil ist, dass die analog angezeigten Messdaten in jedem Betriebspunkt von Hand notiert werden müssen. Die dabei erhaltenen Daten müssen anschliessend mithilfe eines externen Grafikprogrammes ausgewertet werden. Deshalb kam immer wieder die Frage auf, wie die vom Traktor zur Verfügung gestellte hydraulische Leistung effizienter gemessen werden könnte.



Abb. 1: Realisierter Traktortester in Rohrleitungsbauweise

Vorgehen

Ein von der Firma Bucher Hydraulics entwickelter Hydraulikblock mit Sensoren und Aktoren wurde an Hydraulikprüfständen in Betrieb genommen. Bei diesen Tests traten in gewissen Betriebspunkten starke Schwingungen auf. Es wurden mehrere Ansätze überprüft. Das vorliegende System konnte aber nicht stabilisiert werden. Erst die Änderung des Gesamtkonzeptes von der Blockbauweise in die Rohrleitungsbauweise brachte eine Verbesserung. Anschliessend konnte die Belastungseinheit und die darin integrierte Ablaufsteuerung an einem Traktor getestet und ergänzt werden. Zudem wurde ein Programm entwickelt, das die Messdaten visualisiert.

Ergebnis

Die Ablaufsteuerung des vorangegangenen „Industrieprojekt Traktortester“ wurde für die Kommunikation mittels CAN-BUS erweitert. Zudem wurde, aufgrund der Erkenntnisse aus praktischen Versuchen am Traktor, der Messablauf verbessert und ergänzt. Die Kommunikation und Drehzahlerfassung erfolgt über ISOBUS. Die ursprünglich geplante Lösung mit zwei einstellbaren Druckbegrenzungsventilen (DBV) sowie eine Lösung mit zwei Drosselventilen wurde nicht weiterverfolgt, da kein stabiles System erreicht werden konnte. Einzig eine Kombination aus Drossel und DBV erzeugte ein stabiles System. Die Visualisierung einer Messung ist in Abb. 2 ersichtlich.

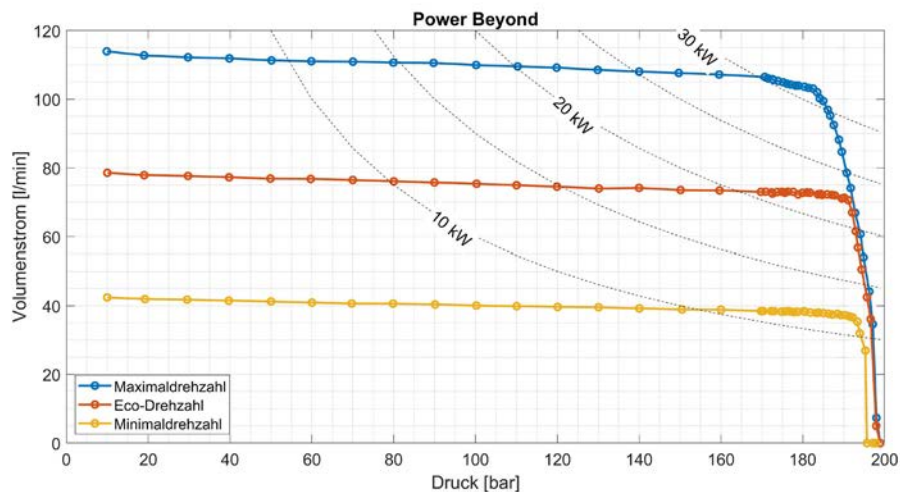


Abb. 2: Datenauswertung



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

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

Thermische Charakterisierung eines Festbett-Latentwärmespeichers mit makroverkapseltem Phasenwechselmaterial

Ausgangslage

Das vom Schweizer Stimmvolk angenommene Energiegesetz sieht vor, die erneuerbaren Energien auszubauen, sowie die Energieeffizienz in der Schweiz zu steigern. Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien erfolgt die Produktion von Strom und Wärme zunehmend bedarfsunabhängig. Dies führt zu einem stetig wachsenden Ungleichgewicht im Energienetz zwischen Verbraucher und Anbieter. Energiespeicher können die so entstehenden Fluktuationen im Energienetz glätten. Beispielhaft erzeugen solarthermische Anlagen in den Sommermonaten überschüssige Wärme. Durch die Einbindung von thermischen Energiespeichern kann die überschüssige Wärme aufgenommen und später anfallende Defizite abgedeckt werden. Die COWA Thermal Solutions AG entwickelt thermische Energiespeicher auf der Basis von Phasenwechselmaterial. Derzeit konnte ein erster Versuchsaufbau eines Latentwärmespeichers (LWS) mit makroverkapseltem Phasenwechselmaterial (PCM) erstellt werden (Abb. 1). Der Latentwärmespeicher soll in einem nächsten Schritt thermisch charakterisiert werden.



Abb. 1: Experimenteller Setup: Latentwärmespeicher mit makroverkapseltem Phasenwechselmaterial im Labor für Thermische Energiesysteme

Vorgehen

Um den Latentwärmespeicher vollständig zu charakterisieren wurde ein Konzept zur Bestimmung der PCM-Temperaturen innerhalb einer Kapsel erarbeitet und verbaut. Anschliessend wurde eine experimentelle Kampagne definiert und durchgeführt, um den Einfluss von verschiedenen Randbedingungen (unterschiedliche Temperaturniveaus, Volumenströme etc.) auf die Lade- und Entladevorgänge zu evaluieren. Abschliessend wurden die Daten aufgearbeitet und ausgewertet.

Ergebnis

Die Auswertung der experimentellen Kampagne zeigt, dass Kapseln am Eintritt des LWS kürzere Phasenwechselzeiten aufweisen als Kapseln in der Mitte und am Austritt. Eine Erhöhung des Volumenstroms führte zu allgemein verkürzten Phasenwechselzeiten. Gleichzeitig führt eine Volumenstromerhöhung bei den Entladevorgängen zu einer Reduktion der übertragenen Wärme, die zur Bereitstellung von Brauchwarmwasser dient. Das Gleiche konnte bei Erhöhung der Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträgerfluid und PCM festgestellt werden.

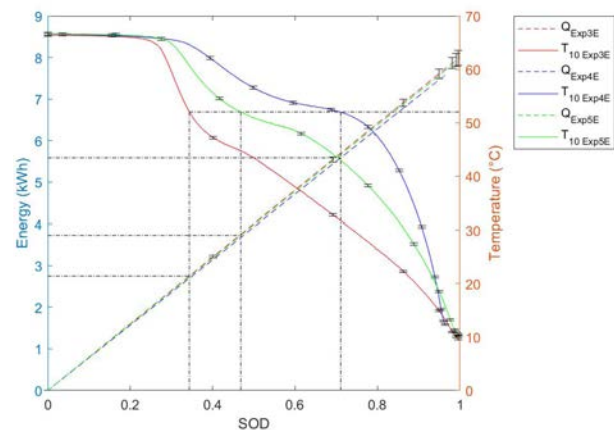


Abb. 2: Qualitative Beurteilung der übertragenen Wärme (Q) auf einem Temperaturniveau von 52 °C für die Austrittstemperatur (T_{10}) in Abhängigkeit des Entladezustandes des LWS (SOD). Die drei Experimente unterscheiden sich durch unterschiedliche Entladevolumenströme



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Roberto May
Prof. Dr. Mirko Kleingries
Aceon AG
Dipl. Ing. FH Lukas Gasser
Produktentwicklung & Mechatronik

Optimierung des Abluft- und Abscheidungssystems einer Kaffee-Röstmaschine

Ausgangslage

Der Mk3 ist ein Prototyp einer Röstmaschine, welche von der Aceon AG im Auftrag von Mikafi konstruiert wurde. Die Bachelor-Thesis befasste sich mit der Konstruktion des Abluftsystems, d.h. mit der Entwicklung eines Subsystems, welches die Luft der Rösttrommel absaugt und sie an die Umwelt abgibt. Die Herausforderung dabei ist die verunreinigte Abluft. Bei der Röstung entstehen über 850 verschiedenste Aromastoffen und es wird des Häutchen der Kaffeebohnen (das sogenannten Chaff) mechanisch abgetrennt. Diese Komponenten werden mit der Abluft mitgezogen. Deshalb braucht es neben den üblichen Abluftkomponenten ein System zur Abtrennung aller unerwünschten Moleküle und ein weiteres System zur Abscheidung des Chaff in einen Behälter.

Vorgehen

Die Arbeit wurde in zwei Abschnitte unterteilt. Die erste Etappe befasste sich mit dem eigentlichen Auftrag von Mikafi. Es wurden alle Anforderungen erfasst und daraus ein Lastenheft erstellt. Durch die Ausarbeitung des Pflichtenheftes entstanden die Zielsetzungen für das Abluftsystem. Mit den Grundlagen der Adsorption und den erarbeiteten Zielen wurde ein Konzept erstellt. Das anschließende Konstruieren und Fertigen beendete diese Arbeit.

Ziel der zweiten Etappe war es, ein noch besseres System zu entwickeln oder mit neuen Erkenntnissen das vorhandene System zu optimieren. Dabei konnte man den Blick «ohne Vorgaben» öffnen. Mit einem Brainstorming, der Analyse von Abluftsystemen von grossen Röstereien und durch Vertiefung des Wissens in der Adsorptionstechnik wurden neue Erkenntnisse gewonnen. Alle Ideen wurden in einem morphologischen Kasten dargestellt. Mit anschließender Modellbewertung wurde die beste Variante definiert, welche schlussendlich konstruiert wurde.

Ergebnis

Es war bekannt, dass die in der Röstung benötigte Wärme sich negativ auf die Adsorption auswirkt. Die realisierte Variante hatte dazu einen Luftbypass zur Kühlung vorgesehen. Da es sich um einen Prototypen handelt, wollte man damit Erfahrungen sammeln. Erst mit der vertieften Untersuchung und Berechnung der Beladung wurde klar, dass eine gute Kühlung noch viel wichtiger ist als angenommen. Zum einen entstehen durch die Röstung mehr organische Stoffe als erwartet und zum anderen beträgt die Beladungskapazität des Geruchsfilters bei über 100°C nur noch ein Bruchteil dessen, was bei Raumtemperatur möglich wäre. Die zweite Variante ist mehr auf diese Problematik eingegangen und man konnte nicht nur ein System mit besserer Kühlung entwickeln, sondern mehrere Funktionen vereinen und so ein einfacheres System entwickeln.

Diese Bachelor-Thesis ist vertraulich, deshalb wird hier nur auf die Grundlage eingegangen und auf Bilder verzichtet.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Deia Melchior
Prof. Dr. Gerhard Székely
Micos Engineering GmbH
Dipl. Ing. ETH Thomas Knodel
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung einer Schocktestanlage

Ausgangslage

Trägerraketen und deren Payloads unterliegen bei ihrer Mission hohen Belastungen. Immer stärkere Raketen und immer grössere und sensiblere Payloads führen zu erhöhten Anforderungen an die Nutzlast. Eine dieser Anforderungen ist die Belastung durch Schocks bei hohen Frequenzen mit hohen Amplituden.

Dies erhöht die Anforderungen an die Schocktestanlagen. Es soll eine Schocktestanlage entwickelt werden, welche Schocks von 1'000 g bis zu 10'000 g ermöglicht. Die zu testenden Instrumente weisen dabei Massen von 5 – 25 kg bei Abmessungen von maximal 400 x 400 x 400 mm auf. Der Schock soll mit einem Metall-auf-Metall Impact erzeugt werden und durch eine Resonanzstruktur und geeignete Filter an das gewünschte Schockbild angeglichen werden.

Resonanzstruktur definiert werden. Zudem kann das Anregungssystem für den Metall-auf-Metall Impact ausgelegt und konstruiert werden. Durch eine Montage von unten können die kostspieligen optomechanischen Systeme einfacher und sicherer auf der Resonanzplatte montiert und geprüft werden. Mit einem Seil-Rollen-System wird ein Schlitten durch ein Gegengewicht beschleunigt. Sobald die gewünschte Geschwindigkeit erreicht ist, wird der Schlitten durch einen Anschlag gestoppt. Das auf dem Schlitten aufliegende Projektil schlägt auf eine Ambossplatte auf, welche an der Resonanzplatte angebracht ist, um so den Schock auf das Instrument zu übertragen.

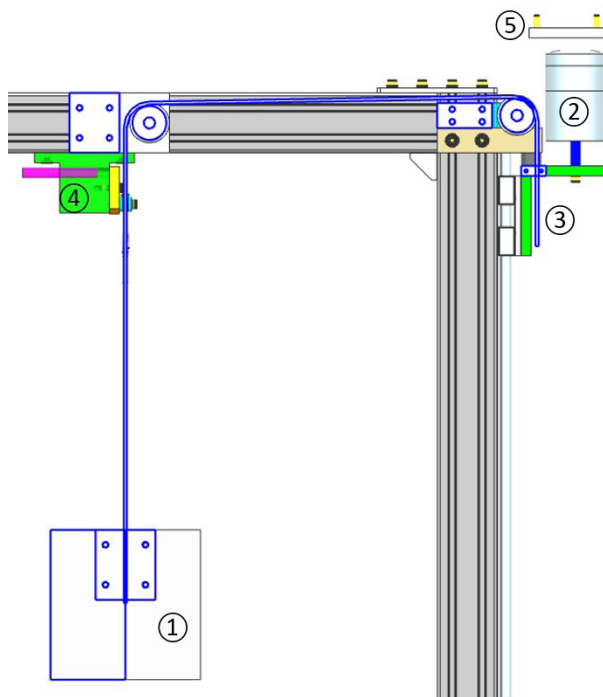


Abb. 1: Zeichnung des Anregungsmechanismus, wobei
1) Gegengewicht, 2) Projektil, 3) Schlitten, 4) Auslöser,
5) Ambossplatte

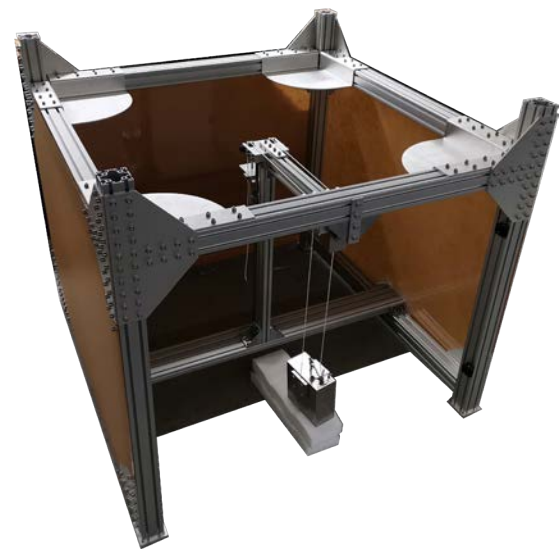


Abb. 2: Konstruierter Schocktisch (ohne Resonanzplatte)

Vorgehen

Um verschiedene Einflüsse auf das Schockbild zu untersuchen, wird zuerst eine Parameterstudie mit Hilfe von FEM (Finite-Elemente-Methode) erstellt. Es werden Parameter wie die Plattengrösse und Einschlagsgeschwindigkeit und -position des Projektils untersucht. Aus den gewonnenen Erkenntnissen kann anschliessend eine zufriedenstellende

Ergebnis

Mit der Parameterstudie wurde eine Resonanzstruktur ausgewählt. Es wurde ein passender Unteraufbau aus Strebenprofilen konstruiert und zusammengebaut, welcher zudem den Anregungsmechanismus beinhaltet. Durch die Strebenprofile lässt sich der Anregungspunkt verschieben. Die Einschlagsgeschwindigkeit des Projektils ist mit der Fallhöhe des Gegengewichts, bzw. durch das Massenverhältnis von Gegengewicht und Projektil, einstellbar. Zudem ist das Material für das Projektil und die Ambossplatte austauschbar, wodurch das Schockbild angepasst werden kann. Zur besseren Vergleichbarkeit der Schocks wurde ein MATLAB-Skript erstellt, welche die Messwerte der Beschleunigungssensoren aus LabView zu SRS (Shock Response Spectrum) umrechnet und darstellt.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**David Merkli
Dipl. Ing. ETH Dejan Romancuk
keine Angaben
Dipl. Ing. ETH Beat Bucher
Produktentwicklung & Mechatronik**

KR-Curve Determination and Verification

Introduction

To predict the crack propagation and the critical crack length in an aluminium skeleton structure under a prevailing load, material parameters such as fracture toughness K_{Ic} and the crack growth resistance KR-curve are used. The use of the KR-curve to determine the critical crack length in a damage tolerance evaluation is less conservative than the use of fracture toughness K_{Ic} . That is why on the one hand the application of the KR-curves can lead to cost savings when calculating inspection interval times on an aluminium skeleton structure. On the other hand, these findings can also be applied to weight optimizations. This thesis aims to develop a strategy for generating of such curves of aluminium 2024 alloy sheets.

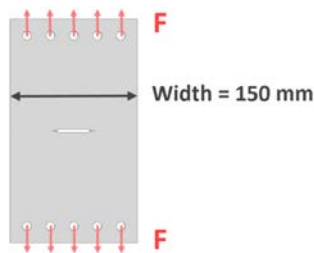


Fig. 1: Middle Cracked Tension M(T) Specimen

Procedure

Based on experimental tests and theoretical investigations on the provided ASTM test standard, the best test method is determined. Tools such as CAD, Finite Element Method, and hand calculations are used for solution finding. The resulting crack resistance tests are performed at the materials laboratory of the Lucerne University of Applied Sciences (HSLU). Middle Cracked Tension M(T) Specimens are loaded under static tensile force on the Zwick-Roell materials testing machine. Through the observation of the crack growth in the specimen and the recorded force, the KR-curve is deduced mathematically. This is done based on the methods given by the international standard ASTM E561 for the determination of KR-curves.



Fig. 2: Specimen Test Setup

Results

In total, seven specimens have been tested. With the load cell in the displacement mode, the following force vs. crack mouth opening displacement (CMOD) curves were generated. Buckling prevention, precise alignment, artificial notch resp. crack and proper calibration of the generated data was found to be of significance to generate adequate KR-Curves. The verification of the produced KR-curves with data from open literature has shown that the generated material data are precise. They are usable for critical crack length calculation. However, the peak KR value could not be attained with the existing equipment. As a conclusion it was found, that this would require M(T)-Specimens with a width of 500 mm and a testing apparatus with higher maximum tensile load of minimum 200 kN compared to the existing capacity of 150 kN.

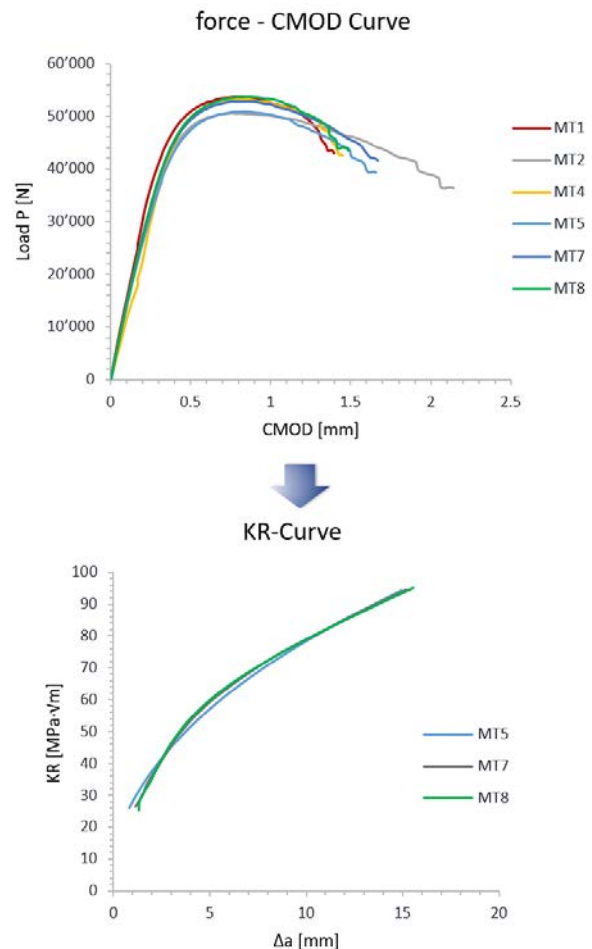


Fig. 3: Measured force-CMOD Curves converted into KR vs. crack length (a)-Curves



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Severin Mignoli
Prof. Dr. Gerhard Székely
maxon motor ag
Dipl. Ing. ETH Thomas Knodel
Produktentwicklung & Mechatronik**

Entwicklung einer Staubkammer für Aktuatorentests

Ausgangslage

Die Maxon Motor AG produziert hochwertige Motoren für verschiedene Anwendungsbereiche, wie z.B. Medizintechnik, Automobilindustrie oder Luft- und Raumfahrt. Im Bereich der Raumfahrt hat sich Maxon bereits einen Namen gemacht: 1997 fuhr der erste Marsrover Sojourner mit DC Motoren von Maxon über die Marsoberfläche. Auch für zukünftige Rover sollen Aktuatoren von Maxon zum Einsatz kommen.

Damit diese im Einsatz einwandfrei funktionieren, sind realitätsnahe Tests notwendig. In einer Vakuumkammer werden die Aktuatoren thermischen Tests und Dichtetests mit künstlichem Staub unterzogen. Der Staub kann in die Labyrinthdichtungen der Vakuumkammer eindringen und diese verstopfen. Damit dies nicht passiert, wird im Rahmen dieser Arbeit eine Staubkammer entwickelt, welche ein Ausströmen von Staub verhindert. Das Ziel der Arbeit ist ein Entwurf der Staubkammer.



Abb. 1: Marsrover mit DC Motoren von Maxon Motor AG
Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mars-Rover>

Vorgehen

Am Anfang wird zusammen mit dem Industriepartner eine Anforderungsliste erstellt. Nach einer Recherche zu den Umweltbedingungen auf dem Mond und Mars sowie für im Vakuum geeignete Materialien, folgt die Ideensuche und die Kombination verschiedener Lösungsansätze. Die Ausarbeitung des Entwurfs wurde im CAD modelliert. Am Schluss folgen die Verifizierung des Entwurfs und ein Ausblick auf das weitere Vorgehen.

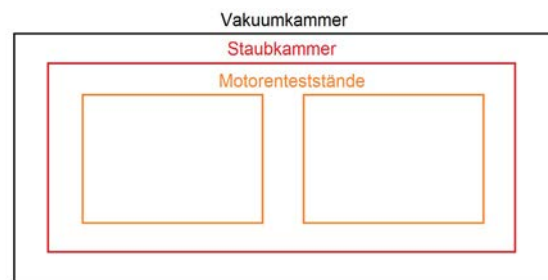


Abb. 2: Layout Teststand

Ergebnis

Das Ergebnis ist ein Entwurf, welcher die Anforderungen des Industriepartners erfüllt. Die Staubkammer hat die Abmessungen 550 x 360 x 282 mm. Die Staubkammer besitzt einen Filter, welcher den Austritt von Staub verhindert. Trotz Vakuum herrscht aufgrund molekularer Strömung inner- und ausserhalb der Staubkammer ein unterschiedlicher Druck. Um diesen Druckunterschied auszugleichen, kann eine Entlüftungsklappe geöffnet werden. In der Arbeit sind mehrere Lösungsansätze für Einzelkomponenten erläutert. Um die Staubkammer fertigen zu können, müssen die Komponenten noch detailliert ausgearbeitet werden. Berechnungen dienen als Verifizierung des Entwurfs und bestätigen die Machbarkeit, zeigen aber auch mögliche Herausforderungen, welche für eine erfolgreiche Umsetzung noch gemeistert werden müssen.



Abb. 3: Entwurf Staubkammer



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Bojan Momcilov
Dr. Adrian Koller
Institut IME, CC FMHM
Dipl. Ing. ETH Paul Joachim Schüngel
Produktentwicklung & Mechatronik

Montage- und Wartungskran für den Gletschergarten Luzern

Ausgangslage

Der Gletschergarten Luzern wird erweitert und investiert in neue Attraktionen. Einer dieser neuen Publikumsmagnete ist der Erlebnistrunk durch den Felsen, in welchem sich ein Becken, gefüllt mit Wasser, befindet. Das Becken wird mit einer Hochleistungspumpe ausgestattet, welche in der Mitte einen künstlichen Wasserwirbel erzeugt und so eine Gletschermühle simulieren soll. Diese Pumpe wird von der Hochschule Luzern Technik & Architektur entwickelt und umgesetzt. Im zusammengebauten Zustand hat die Pumpe eine Höhe von ca. 2 m und einen Durchmesser von ca. 1.4 m. Das Becken hat eine Fläche von 8 m x 8 m und eine Tiefe von 1.9 m. Die Distanz zwischen Besucherplattform und Schacht beträgt 5 m (Abb. 1). Damit die Pumpe eingebaut werden kann, wird ein Montagekran benötigt, welcher auch für Wartungsarbeiten eingesetzt wird. Damit der Hub des Kranes reduziert werden kann, wird die Pumpe in kleinere Baugruppen zerlegt (Abb. 1). Die schwerste Baugruppe hat ein Gewicht von 250 kg. Beim Konzept ist zu beachten, dass der Montage- und Wartungskran von der Besucherplattform aus nicht sichtbar sein darf. Zudem herrscht eine hohe Luftfeuchtigkeit im Felsen.

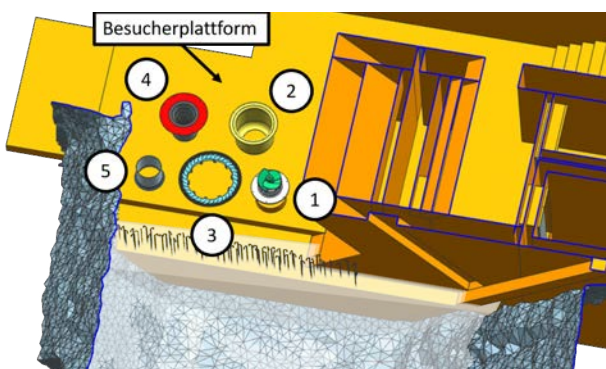


Abb. 1: Ansicht von Oben. Axiallaufrad mit Motor (1), Aussenkontur (2), Leitschaufeleinheit (3), Innenkontur mit Siebkorb (4) und Plexiglasrohr (5)

Vorgehen

Zu Beginn wurde eine Recherche im Bereich Kranbau und Hebesysteme durchgeführt. Anhand der Anforderungen und der Recherche entstand ein morphologischer Kasten, in welchem die verschiedenen Teilfunktionen und die Lösungsansätze aufgelistet sind. Zur Auswertung des Kastens

wurde eine Analyse der Vor- und Nachteile der Teilfunktionen durchgeführt. Bei der Bauraumuntersuchung wurde das Linear- und Schwenksystem genauer analysiert und miteinander verglichen. Anhand dieser Analysen konnte ein optimales Konzept ausgelegt, im CAD modelliert und anschließend mit einer Fachperson besprochen werden.

Ergebnis

Der Montage- und Wartungskran besteht aus einer Laufschiene, die von einer Stützen- und Seilkonstruktion gehalten wird (Abb. 2). Die Seile bei der Schiene reduzieren deren Durchbiegung. Für die Stabilisation werden auf der Schachtseite drei weitere Seile benötigt. Die 2-Beinstütze wird auf der Besucherplattform aufgestellt. Das System ist demontierbar, indem die Stützen durch ein Stecksystem miteinander verbunden werden. Die Stützelemente und Verbindungsstücke bestehen aus geschweissten Teilen. Die Schiene besteht aus drei Schienenstücken, welche durch Klemmen und Formschluss miteinander verbunden werden. Eingebaut beträgt die Länge der Schiene 7.3 m. Für den Hubvorgang wird ein Elektrokettzug verwendet, welcher an die Laufkatze montiert wird. Der lineare Transport der Pumpenbaugruppen von der Besucherplattform zum Schacht erfolgt manuell.

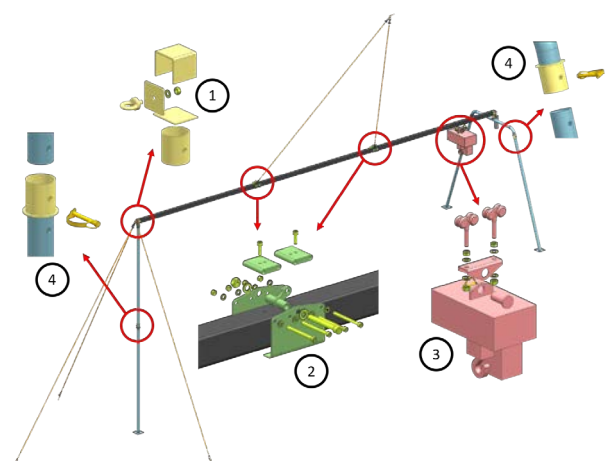


Abb. 2: CAD Modell Montage- und Wartungskran. Verbindungsstück Schiene-Stütze (1), Verbindungsstück Schiene-Schiene (2), Laufkatze mit Elektrokettzug (3) und Steckverbindung Stütze (4)



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Sven Mühlemann
Dipl. Ing. FH Pierre Kirchofer
Dätwyler Cabling Solutions AG
B. Sc. ME Stephanie Janssen
Produktentwicklung & Mechatronik

Bestimmung des Reibungskoeffizienten von Kunststoffen

Ausgangslage

Für die Ummantelung von Glasfaserkabel werden spezielle Polymermischungen mit Aluminiumoxid-Additiven eingesetzt. Diese Additive machen das Produkt flammhemmend, um Brandschutzanforderungen zu genügen. Diese Mischungen werden als „Flame Retardant Non-Corrosive“ (FRNC) bezeichnet. Es besteht nun die Vermutung, dass diese Additive einen Einfluss auf den Reibungskoeffizient haben. Bei der Verlegung der Glasfaserkabel ist der Reibungskoeffizient zwischen Kabel und Rohr (Microduct) ein wichtiger Faktor für die maximal erreichbare Distanz, den Zeitaufwand sowie die Zuverlässigkeit des Verfahrens. Es soll ein geeigneter Prüfstand entwickelt werden, welcher es erlaubt, den Reibungskoeffizient dieser FRNC-Mischung mit reinem Polyethylen (PE) zu vergleichen.

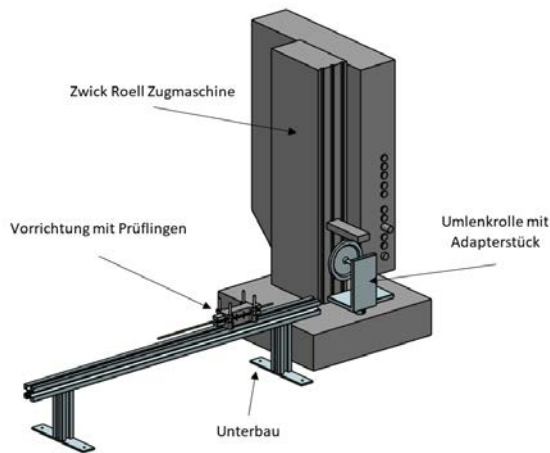


Abb. 1: Vorrichtung angekoppelt an eine Zwick Roell Zugmaschine

Vorgehen

In einer Recherche wurden Normen studiert und verschiedene Verfahren und Produkte miteinander verglichen, welche es erlauben, Reibungskoeffizienten zu bestimmen. Daraus entstanden drei Grobkonzepte, von welchen ein Konzept detailliert ausgearbeitet wurde. Basierend auf einer Zwick Roell Messmaschine für Zugversuche wurde eine Vorrichtung

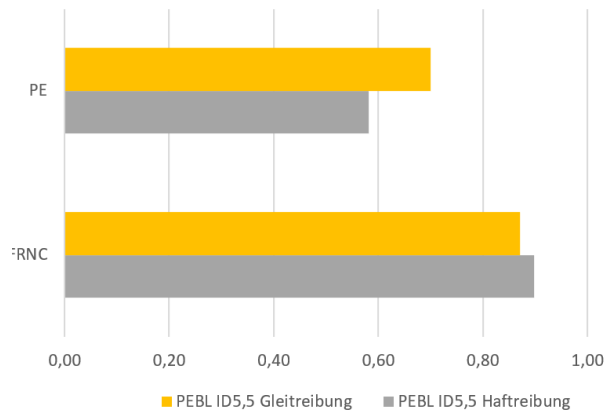


Abb. 2: Reibungskoeffizient von PE- und FRNC-Kabel-Prüflingen mit einem PE Microduct (Rohr)

konstruiert, mit welcher Microducts und Kabel-Prüflinge eingespannt und der Reibungskoeffizient reproduzierbar gemessen werden kann (Abb. 1). Es wird dabei eine definierte Kraft zwischen den Reibpartnern erzeugt. Mit einem Kraftsensor wird die Kraft gemessen, um die Prüflinge in Bewegung zu versetzen bzw. in Bewegung zu halten. Diese Kraft kann direkt in den gesuchten Koeffizienten umgerechnet werden. Durch eine Excel-Datei mit Visual Basic Elementen werden die Messergebnisse automatisch ausgewertet und ein Prüfprotokoll erstellt.

Ergebnis

Wie erwartet weisen die FRNC-Mischungen eine höhere Reibungszahl auf als reine Polyethylen-Mischungen (PE) (Abb. 2). Die Unterschiede verschiedener FRNC-Mischungen untereinander sind klein und auf Grund der Messunsicherheit sowie dem Verschleiss der Prüflinge, welcher die Messergebnisse stark beeinflussen, nicht eindeutig bestimmbar.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Sandro Müller
Dr. Rolf Kamps
Schuler Systemtechnik GmbH
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller
Produktentwicklung & Mechatronik

Mobiler Dachbefestigungspunkt

Ausgangslage

Zurzeit sichern sich Personen bei Dacharbeiten meist an stationären Anschlagpunkten. Durch eine neue Produktidee, dem mobilen Dachbefestigungspunkt, können diese Arbeiten sicherer gemacht werden. Die zu sichernde Person kann sich mit dem mobilen Dachbefestigungspunkt am Unterbau von Schrägdächern, welche aus sogenannten Konterlatten und Dachlatten bestehen, bereits vom Gerüst oder von der Leiter aus sichern. Vor Montage der Vorrichtung können die Personen den Zustand der Dachstruktur prüfen und somit abschätzen ob die Verwendung des mobilen Dachbefestigungspunktes sicher ist. Ein grosser Vorteil dieser Vorrichtung ist, dass die Personen bereits gegen Absturz gesichert das Dach betreten. In der Arbeit wurde ein erster Prototyp zu einem funktionsfähigen Serienteil weiterentwickelt. Entwicklungsbegleitend wurden die Bauteile spannungsmässig mittels FEM berechnet und optimiert. Für eine Baumusterprüfung müssen alle Bauteile geometrisch, in Werkstoff und Oberfläche festgelegt sein. Um Sicherheit beim Zertifizierungsprozess zu gewinnen, wurde der mobile Dachbefestigungspunkt unter Prüfbedingungen mit der Universal-Prüfmaschine im Werkstofflabor der HSLU T&A belastet. Hierzu wurde das Bauteil unter realistischen Bedingungen auf eine Holzstruktur gespannt und eine Prüflast von 13 kN in allen vier Richtungen in die Anschlagvorrichtung eingeleitet.



Abb. 1: Mobiler Dachbefestigungspunkt im Zugversuch

Vorgehen

Konstruktionsbegleitend wurden die Bauteile sowohl über FEM-Rechnungen hinsichtlich der Verformung und den Bauteilspannungen optimiert als auch auf eine fertigungs- und kostengerechte Gestaltung entwickelt.

Die EN 795:2012 beschreibt den Anwendungsbereich einer persönlichen Absturzschutzausrüstung-Anschlagvorrichtung und legt das Prüfverfahren fest. In Absprache mit der Suva Luzern wurden die Vorrichtungen und der mobile Dachbefestigungspunkt so gestaltet, dass eine Baumusterprüfung durchgeführt werden kann. Zum Arbeitsumfang gehört hierzu auch die Erstellung einer technischen Dokumentation, die alle Bauteile als Einzelteile beschreibt und eine Bedienungsanleitung, die den bestimmungsgemässen Gebrauch in Anlehnung an die EG-Maschinenrichtlinie beschreibt.

Ergebnis

Der mobile Dachbefestigungspunkt wurde als Blechbauteil entwickelt und konstruiert. Die meisten Einzelteile können als Lasereinzelteile aus Blech hergestellt werden. In einer Schachtel- und Steckbauweise werden die Teile montiert und können dann direkt verschweisst werden. Durch diese Bauweise können aufwändige Richtarbeiten beim Schweißen der Baugruppe vermieden werden. Die durchgeführten Zugversuche haben den Nachweis erbracht, dass durch den mobilen Dachbefestigungspunkt die vorgeschriebenen Prüflasten in allen vier Lastrichtungen sicher gehalten werden können.

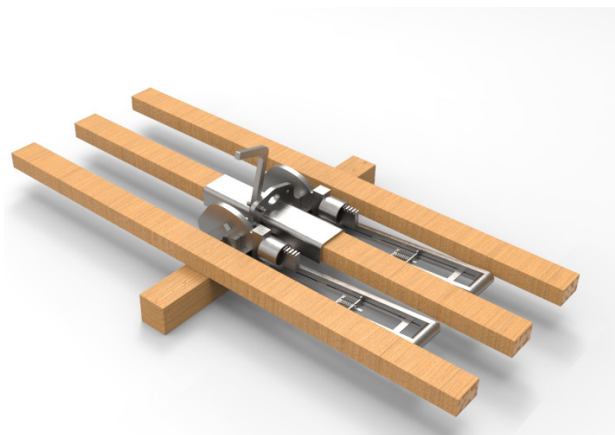


Abb. 2: Mobiler Dachbefestigungspunkt in Einbaulage



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Nicolas Murer
Prof. Dr. Ulf Christian Müller
Institut IME, CC FMHM
Dr. Joel Schlienger
Energien, Fluide und Prozesse

Digitaler Zwilling eines Pumpenprüfstandes

Ausgangslage

An der HSLU T&A in Horw wird grosser Wert auf praxisbezogene Ausbildung gelegt. So wird den Studierenden vom Studiengang Maschinentechnik das Verständnis für Pumpen vermittelt. Dies wird zum einem mit Vorlesungen und Übungen, zum anderen mit Laborversuchen gemacht. Dazu sind verschiedene Prüfstände, unter anderem ein Pumpenprüfstand vorhanden. Ein Mitarbeiter der HSLU bedient den Prüfstand und die Studierenden verfolgen das Geschehen. Die individuelle Bedienung des Prüfstandes durch die Studenten ist aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Um dies zu ändern, wurde im Rahmen einer Projektarbeit im Masterstudium ein Digitaler Zwilling mit Modelica® erstellt, um den realen Prüfstand digital abzubilden. In dieser Bachelor-Thesis soll der fehlende Pumpturbinenstrang ausgemessen und im Modelica-Modell integriert werden.



Abb. 1: Pumpenprüfstand im Labor

Vorgehen

Am physischen Pumpenprüfstand im Labor wurden verschiedene Messungen durchgeführt, um die Charakteristik der Pumpturbine aufzunehmen. Dazu wurde die Pumpturbine in verschiedenen Schaltungen betrieben. Anschliessend wurden die Messdaten aufbereitet und für die Verwendung im Modell vorbereitet. Um die Pumpturbine im Digitalen Zwilling abzubilden, wurde eine bestehende Pumpe so angepasst, dass sie auch als Turbine betrieben werden kann. Die Pumpturbine wurde in verschiedenen Simulationen validiert und im Gesamtmodell integriert.

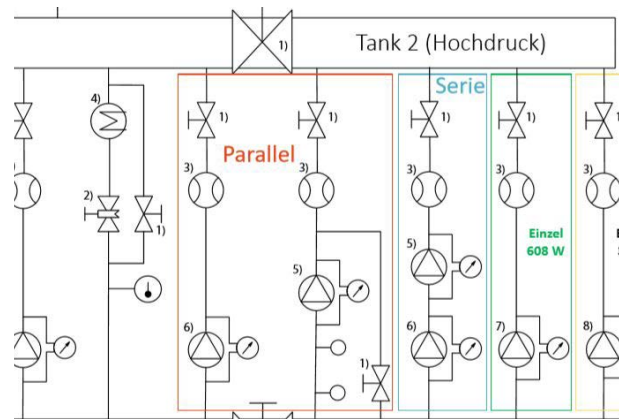


Abb. 2: Schema Pumpenprüfstand. Mit zwei Tanks (Hoch- und Tiefdruck), Pumpturbine (9), Pumpen (5-8), Volumenstromsensor (3), Regelventil (2), Handventil (1), Wärmeübertrager (4) und Druckausdehnungsgefäss (5)

Ergebnis

Die Pumpturbine wurde im Digitalen Zwilling ergänzend programmiert, parametrisiert und durch verschiedene Simulationen validiert. Bei der Simulation der verschiedenen Teilsysteme wurde festgestellt, dass die Verluste im ergänzten Simulationsmodell noch nicht ausreichend genau mit den Messungen am physischen Prüfstand übereinstimmen. Weitere Anpassungen sollen innerhalb von Folgearbeiten vorgenommen werden. Bei der Simulation im Gesamtsystem wurde zudem festgestellt, dass die Simulations-Performance noch verbesserungswürdig ist.

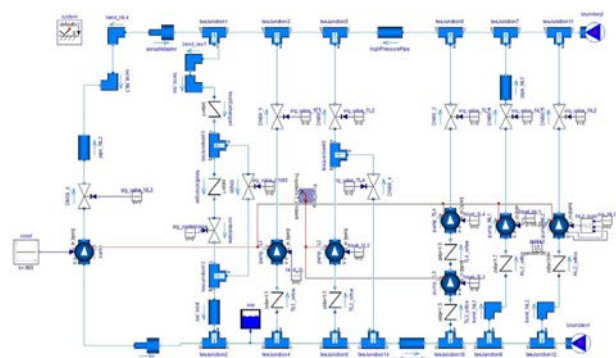
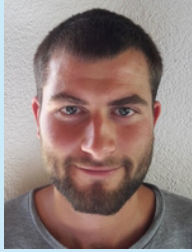


Abb. 3: Simulationsmodell des gesamten Prüfstandes



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Christoph Niederberger
Dipl. Ing. ETH Marco De Angelis
Institut IME, CC Mechanische Systeme
Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Produktentwicklung & Mechatronik**

Dosiervorrichtung für den Crêpe Roboter

Ausgangslage

Die Hochschule Luzern hat den Crêpe Roboter mit dem Ziel entwickelt, an Messen und Events den Besucher eine interessante technische Robotik-Anwendung zu zeigen. Für die Entwicklung des Roboters und der verschiedenen Komponenten wurden bereits einige Industrie- und Bachelorarbeiten durchgeführt. Einer dieser Komponenten ist die Dosiervorrichtung für die Crêpe-Füllung, welche aus Schokolade und Konfitüre bestehen soll.

Ziel dieses Projektes ist es - gestützt auf vorhergehende Arbeiten - eine neue Dosiervorrichtung zu entwickeln, als Prototyp zu bauen und sie in den Prozess der Crêpe-Herstellung einzubinden. Die Vorrichtung muss vom Roboterarm aufgenommen, am richtigen Ort platziert und die gewünschte Menge der Füllung ausgestossen werden können. Nach dem Dosieren muss die Vorrichtung ohne Verschmutzung des Umfeldes zurück an den Lagerplatz gebracht werden. Es sollen verschiedene Füllungen mit der gleichen Grundkonstruktion möglich sein.

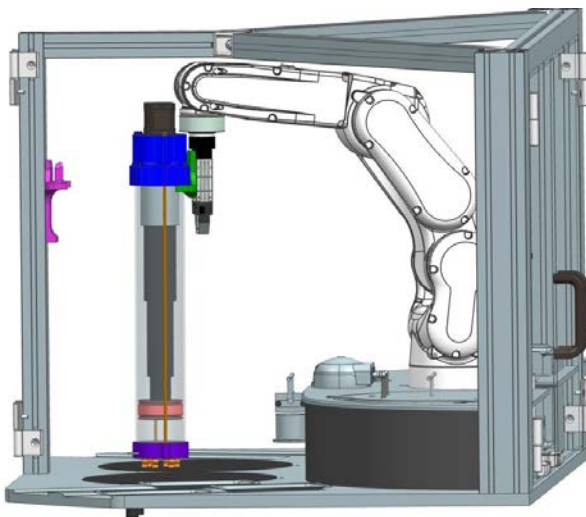


Abb. 1: Dosiervorrichtung am Roboter

Vorgehen

Durch Recherchen wurde ein Überblick der verschiedenen Technologien und Lösungs-Möglichkeiten beschafft und kritische Teilfunktionen experimentell untersucht. Die Vorrichtung wurde mit einem CAD-Programm konstruiert und anschliessend gefertigt und aufgebaut. Die Teile wurden grösstenteils durch 3D-Druck hergestellt oder durch extern bestellte Komponenten realisiert.

Für die Steuerung des Motors für die Dosierfunktion wurde eine elektronische Schaltung entwickelt. Die notwendigen elektrischen Bauteile sowie die Leiterplatte wurden definiert und bestellt. Ein Test der einzelnen Funktionen sowie das Programmieren der Steuerungseinheit haben den Steuerungsteil abgeschlossen.

Ergebnis

Um die Füllmenge bei gegebener Bauhöhe zu maximieren, wurde ein Teleskopgewinde konstruiert. Damit beide Füllungen in der gleichen Grundkonstruktion verarbeitet werden können, wurde der untere Teil modular aufgebaut. Somit kann mit verschiedenen Einsätzen und den gleichen Ventilen gearbeitet werden. Der Ausstoss wird mit einem Schrittmotor über einen Mikrocontroller gesteuert.

Die Dosiervorrichtung mit Konfitüre besitzt einen Drehverschluss, um das Auslaufen der Füllung zu verhindern. Die Erwärmung der Schokolade wird durch zwei Heizpatronen mit je 40 Watt erreicht und mit einem Temperatursensor kontrolliert.

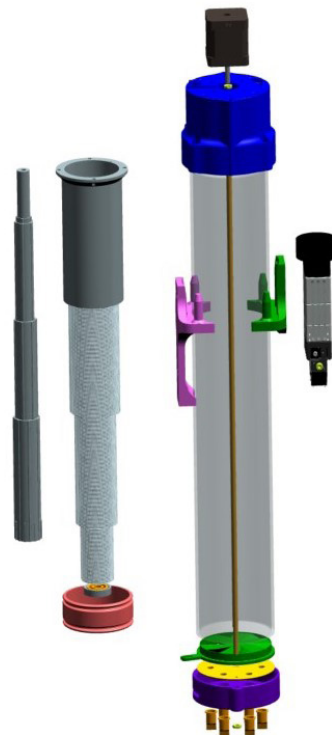


Abb. 2: Explosionsansicht Dosiervorrichtung



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Lukas Niederberger
Dr. Adrian Koller
SBB AG
Dipl. Ing. ETH Paul Joachim Schüngel
Produktentwicklung & Mechatronik**

Konzept und Optimierung der Geländetauglichkeit für autonomen Roboter

Ausgangslage

Die SBB entwickelt in Zusammenarbeit mit der HSLU ein autonomes Vegetationsbekämpfungssystem für den gleisnahen Bereich (C, D und E in Abb. 1). Es ist das Ziel, in Zukunft auf den Einsatz von Glyphosat zu verzichten. Stattdessen soll ein autonomer Roboter die Vegetation mechanisch bekämpfen. Ein solches Gerät, welches der speziellen und vielfältigen Umgebung des Einsatzbereiches gewachsen ist, existiert bis heute in dieser Form noch nicht, obwohl autonome Rasenmäroboter bereits weit verbreitet sind. Das System besteht aus vielen verschiedenen Komponenten, welche zusammengeführt werden und schlussendlich das Endprodukt darstellen. Das Projektteam der HSLU ist die Schnittstelle für die verschiedenen Komponenten des Systems und verteilt die einzelnen Entwicklungsprojekte. Ziel dieses Projektes ist es, ein Lokomotionskonzept für den autonomen Roboter, welcher die Vegetation bekämpft, zu entwickeln.

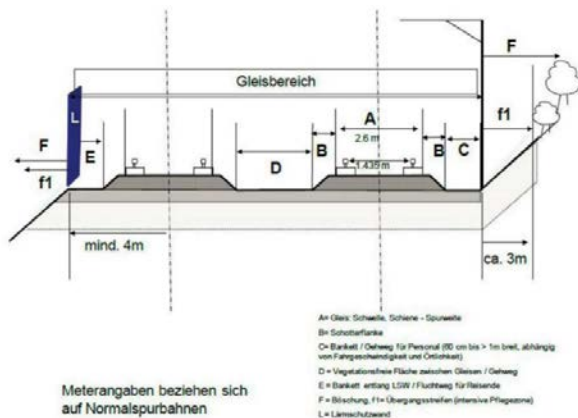


Abb. 1: Einteilung des Gleisbereiches aus BAV 16

Vorgehen

Da die Projektanforderungen sehr allgemein gehalten waren, mussten diese ausdetailliert werden, um eine Technologierecherche durchführen zu können. Es geht einerseits um die Anforderungen, welche wichtig sind für einen autonomen mobilen Roboter, der sich im Gelände des Gleises bewegen kann und andererseits darum, welche Fortbewegungstechnologien bereits existieren. Anschliessend wurden die verschiedenen Fortbewegungstechnologien in eine bewertbare

Form gebracht, um die Wahl der optimalen Kombination der verschiedenen Technologien zu vereinfachen. Die bestbewertete Kombination wurde weiter ausdetailliert, um eine realisierbare Lösung zu erhalten. Abschliessend wurde die ausgearbeitete Bewegungsmechanik mit den zu Beginn definierten Anforderungen abgeglichen.

Ergebnis

Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein dreirädriges Lokomotionskonzept, welches den durch das Einsatzgelände gestellten Anforderungen entspricht und für das Vegetationsbekämpfungssystem der SBB verwendet werden kann. Der Fokus bei der Auslegung und Konstruktion wurde auf den Antrieb und die Lenkung gelegt.

Das dreirädrige Lokomotionskonzept wurde speziell auf die Geländegängigkeit und eine niedrige Komplexität ausgelegt und entwickelt (Abb. 2). Es besitzt einen Allradantrieb, wobei das Hinterrad auch das Lenkrad ist, was ein Wenden an Ort ermöglicht.

Des Weiteren kann diese Arbeit als Guideline für die Entwicklung weiterer Lokomotionskonzepte dieser Art benutzt werden. Es wird unter anderem auch aufgezeigt, auf was bei einer Konstruktion und Auslegung geachtet werden muss.

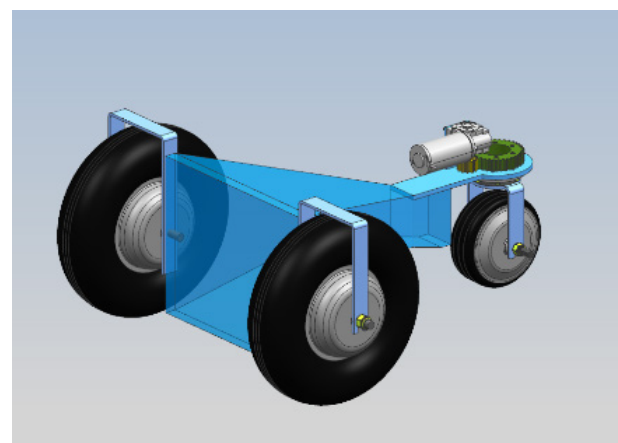


Abb. 2: CAD-Modell der dreirädrigen Lokomotion



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Silvio Niggli
Prof. Dr. Mirko Kleingries
Institut IME, Forschungsgruppe SORPTION
Dipl. Ing. FH Lukas Gasser
Energien, Fluide und Prozesse**

Evaluation von Umkehrosmose zur Wassergewinnung aus der Atmosphäre

Ausgangslage

In vielen Regionen der Welt herrscht grosser Mangel an Trinkwasser. Die wachsende Weltbevölkerung, steigender Lebensstandard und die Landwirtschaft verschärfen dieses Problem zunehmend. Es werden neue Wege gesucht, um Trinkwasser zu gewinnen. Mit der relativ neuen Technologie der Atmospheric Water Generator (AWG), wird das immense Potenzial des Wasserdampfes in der Atmosphäre genutzt und als Trinkwasser bereitgestellt. Herkömmliche AWG arbeiten entweder nach dem Kondensations- oder dem Sorptionsprinzip. Bei der Kondensation wird die Luft unter den Taupunkt abgekühlt und das kondensierte Wasser aufgefangen. Beim Sorptionsprinzip wird der Wasserdampf entweder in einer Flüssigkeit (meist Salzlösungen) absorbiert oder an einen festen Stoff gebunden. Um das aufgenommene Wasser zu trennen, wird bei beiden Sorptionsarten das Wasser verdampft. Da generell das Verdampfen bzw. Kondensieren von Wasser sehr viel Energie benötigt, wird in dieser Arbeit die Umkehrosmose als potenzielle neue Methode zur Wassergewinnung aus der Atmosphäre evaluiert. Der Umkehrosmose-Prozess soll mit dem Absorptions-Prozess kombiniert und auf die Machbarkeit bzw. den Energiebedarf geprüft werden.

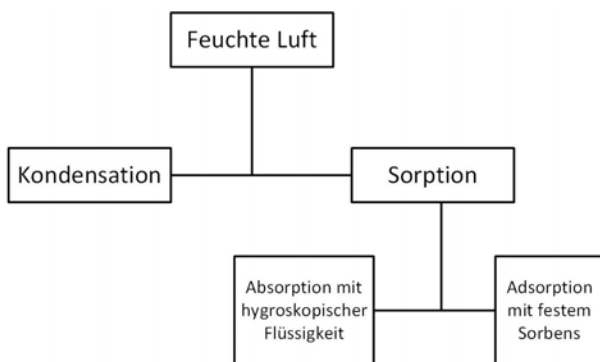


Abb. 1: Verschiedene Technologien für den AWG-Prozess

Vorgehen

Um die verwendeten Prozesse zu verstehen, wurden zu Beginn der Arbeit die benötigten theoretischen Grundlagen erarbeitet. Anschliessend folgte eine umfassende Recherche zum Thema AWG, welche den State of the Art aufzeigen sowie eine Übersicht über den aktuellen Markt geben soll. In einem nächsten Schritt wurde auf Basis verschiedener Kriterien ein Absorbens für den gesamten Prozess ausgewählt. Aufgrund dieser Auswahl wurde ein mathematisches Modell vom Absorber und vom Umkehrosmose-Modul erstellt. Mit diesen Modellen wurde anschliessend der gesamte Prozess simuliert und bewertet. Um den Prozess zu testen, wurde weiter ein Konzept für einen Versuchsaufbau erstellt.

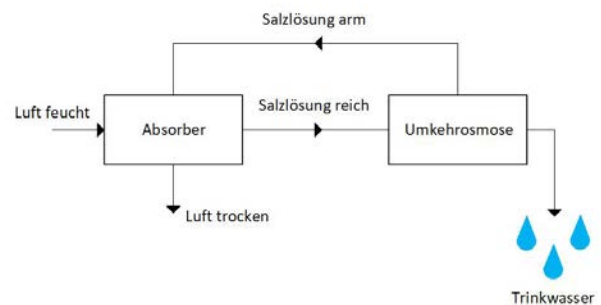


Abb. 2: Ablaufdiagramm der Technologiekombination

Ergebnis

Die gesamte Arbeit und vor allem die Simulationen haben gezeigt, dass die Kombination der beiden Technologien grundsätzlich möglich ist. Die Grösse und Komplexität der Anlage ist aber letztendlich vom Einsatzgebiet sowie vom Salzgehalt der Lösung abhängig. Dennoch bietet diese Kombination in energetischer Hinsicht einen klaren Vorteil gegenüber den bestehenden Systemen. Aus Gründen der Geheimhaltung können keine detaillierten Ergebnisse gezeigt werden.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Guillermo Pomphile
Prof. Dr. Beat Wellig
Hofstetter Gasttechnik AG
Dipl. Ing. ETH Florian Brunner
Energien, Fluide und Prozesse**

Thermal Treatment of Highly Concentrated Landfill Leachate

Introduction

Leachate in landfills is a serious environmental problem. It is common to treat landfill leachate (LL) by reverse osmosis (RO). This technology is suitable for the recovery of water, but it produces a highly contaminated residual liquid, which in this study will be called landfill leachate concentrate (LLC), which must be disposed of safely. The common practice of elimination was to return the LLC to the landfill. The consequence of this procedure is a continuous increment in the conductivity of the leachate with a negative impact in the efficiency of the reverse osmosis plant.

This study proposes an alternative to reduce the volume of leachate using an energy-self-sufficient leachate evaporation system using a Multi-stage flash (MSF) evaporation and Landfill gas (LFG) as energy source for a steam boiler. MSF is specially suitable to treat LLC mainly because in MSF the heat transfer happens in the heat exchanger while LLC is still in liquid form but the evaporation takes place in the expansion chamber. This sequence minimizes the amount of scaling that can occur in the pipes and heat exchangers which is an important problem to avoid when evaporating leachate.

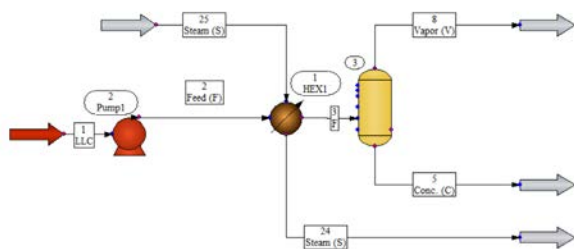


Fig. 1: Diagram of single step of leachate flash evaporation used by the simulation software

Procedure

The design done in this study includes landfill and leachate data assessment, evaluation of different operation scenarios, development of a standardized case model of leachate and landfill gas to be used in a process simulator, creation of a piping and instrumentation diagram (P&ID) along with control and equipment concept and finally an economical assessment of the proposed system. In a first step, research in the theory of design and operation of evaporation technology was necessary. In a second step, thermodynamic and process related models were established to support the development of the design. The software Chemcad 7 and PinCH 3.2 were used to evaluate and simulate LFG preconditioning, multiple steps flash evaporation and an optimization of the heat exchanger network.

Results

It has been demonstrated that for a standard mass flow of 0.5 kg/s of LLC, expected in a large size landfill, a MSF system of 5 steps is the optimal for reducing the volume of waste to be disposed by incineration. Such a system will reduce the inlet volume of LLC to 50 %. The total operation cost varies strongly with the price considered for the hot utility. When considering that the price of landfill gas is half of the price of natural gas, the total operation cost is calculated to be CHF 264'000/a resulting in net potential annual savings up to CHF 379'000. A constant LFG volume flow of 300 Nm³/h, a steam boiler of 1 MW at 12 bar, and 22 KW of electrical power for pumping and gas cooling in summer are required. The total investment required is calculated at CHF 663'700. As a result, an amortization period below 2 years, based on savings produced due to less disposal of sludge by incineration, can only be reached with incineration cost above 78 CHF/ton. These results are only valid in case that the landfill already has the infrastructure to collect LFG and LL and to burn the excess of gas in an existing flare.

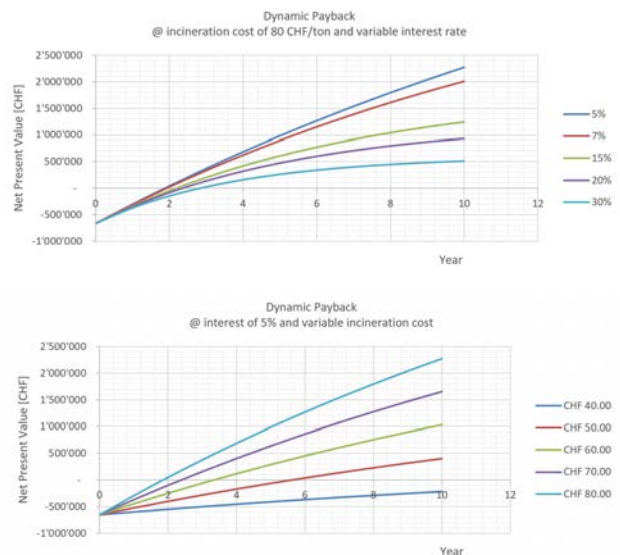


Fig. 2: Dynamic payback of MSF system with variable incineration cost of sludge and variable interest rate



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Claude Portmann
Prof. Dr. Ernesto Casartelli
Ypsomed
Dr. Joel Schlienger
Energien, Fluide und Prozesse

Untersuchung der Kühlung in einem Spritzgusskern

Ausgangslage

Ypsomed stellt Autoinjektoren und andere medizinische Produkte in jährlichen Stückzahlen im Millionenbereich her. Es wird versucht, die Zykluszeit des Spritzgussprozesses weiter zu reduzieren. Diese wird durch verschiedene Parameter, wie der Geschwindigkeit der Spritzgussmaschine beim Öffnen und Schliessen der Form und dem Einspritzen des Werkstoffs beeinflusst. Die meisten Parameter sind durch die verwendete Maschine vorgegeben. Die vorliegende Arbeit untersucht den Kühlvorgang, um Vorschläge für die Reduzierung der Zykluszeit zu formulieren. Da der Platz im Kern begrenzt ist und das Bauteil während des Kühlvorgangs auf den Kern schrumpft, beschränkt sich die vorliegende Arbeit auf die Kühlung von Innenkernen.

Zurzeit werden verschiedene Geometrien angewandt, welche in Abb. 1 dargestellt sind. Die Wirksamkeit der verschiedenen Kühlkanäle wurde jedoch bisher nicht systematisch untersucht und nicht direkt miteinander verglichen.

Da die Kerne additiv gefertigt werden, ermöglicht dies die Herstellung von Kühlkanälen, welche konventionell nicht erzeugt werden können.

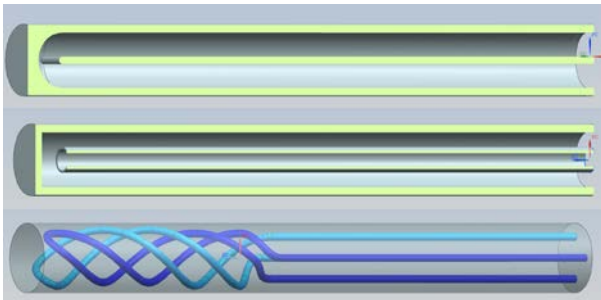


Abb. 1: Darstellung der verwendeten Kühlkanal-Geometrien: Kern mit Trennblech, Kern mit Innenrohr sowie wendelförmige Kühlkanäle

Vorgehen

In der vorliegenden Arbeit wurde die Strömung des Kühlmittels in unterschiedlichen Kühlkanal-Geometrien charakterisiert. Mit einem dazu erstellten Berechnungsprogramm wurden fünf vielversprechende Varianten bezüglich dem Wärmeübergang optimiert und dann der stationäre Betrieb numerisch simuliert. Zusätzlich wurde der Einfluss der Wandrauhigkeit sowie jener von Stolperschwellen (Abb. 2) auf den Wärmeübergang untersucht.

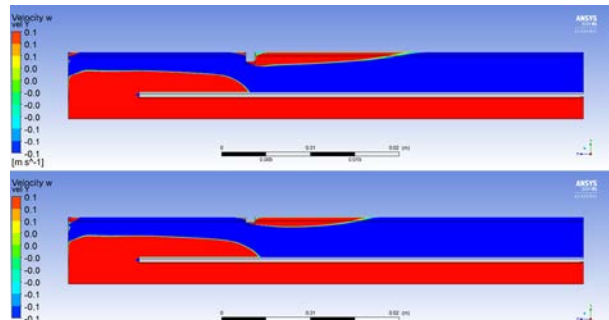


Abb. 2: 18° Kreissektor von Kern mit Innenrohr mit 1 x 1 mm und 0.5 x 1 mm Stufe. Einlass unten rechts, nach Geschwindigkeit in z-Richtung (horizontal) eingefärbt

Ergebnis

Die numerische Simulation des Wärmeübergangs im Spritzgusskern zeigen die Grenzen von Korrelationen auf und ermöglichen den Vergleich von unterschiedlichen Kühlkanal-Geometrien. Mit Hilfe des erstellten Berechnungsprogramms kann der Kühlkanal für eine spezifische Kerngeometrie bezüglich des Durchflusses und Wärmeübergang optimiert werden.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass mit dem wendelförmigen Kühlkanal eine hervorragende Durchmischung der thermischen Grenzschicht erreicht wird (Abb. 3). In Kombination mit einem hohen Volumenstrom wird eine Kühlleistung erreicht, die um den Faktor 2 besser ist als bei anderen Geometrien.

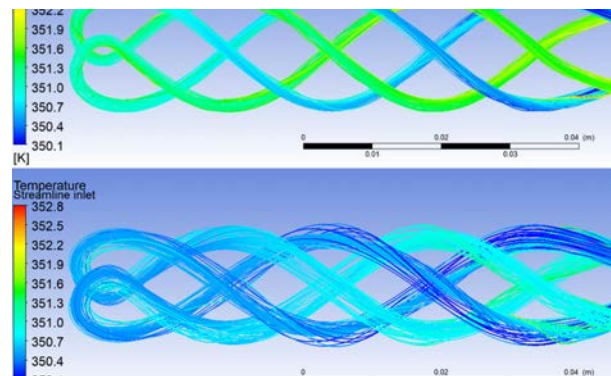


Abb. 3: Wendelförmiger Kühlkanal mit 2 mm und 4 mm Durchmesser



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Sergio Rölli
Prof. Dr. Deniz Sabri
Institut IME, CC FMHM
Dr. Joel Schlienger
Energien, Fluide und Prozesse**

Detaillierte Messungen am neuen Pumpenprüfstand im Hydro-Labor

Ausgangslage

Die Effizienz von Pumpenanlagen spielen in unserer Gesellschaft eine wichtige ökonomische und ökologische Rolle. Viele dieser Systeme sind heute veraltet und ineffizient. Die korrekte Auslegung der Pumpe an die Systemanwendung ist für die Effizienz enorm wichtig. Durch die richtige Wahl des Pumpentyps und deren Regelung und Anordnung können die Pumpenaggregate optimal an die Anforderungen angepasst werden. Das Wissen um diese Zusammenhänge ist für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen wichtig und soll auch in der Ingenieurausbildung vertiefter vermittelt werden. Aus diesen Gründen wurde in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Energie an der Hochschule Luzern (T&A) im Kompetenzzentrum für Fluidodynamik und Hydromaschinen ein mobiler Pumpenprüfstand aufgebaut (Abb. 1).



Abb. 1: Pumpenprüfstand im Hydrolabor des Kompetenzzentrum Fluidodynamik und Hydromaschinen

Vorgehen

Der in dieser Arbeit untersuchte Pumpenprüfstand verfügt über zwei verschiedene Pumpentypen (Trocken- und Nassläufer) mit unterschiedlichen Leistungen. Es besteht die Möglichkeit, Drossel- und Drehzahlregelungen (mit Frequenzumrichter) zu realisieren und einzelne Pumpenaggregate können in Serie- oder Parallelschaltung angeordnet werden. Mit den installierten Messgeräten wurden die Pumpen ausgemessen und analysiert und die Daten mit den Herstellerdaten der Firma Grundfos verglichen, wobei Abweichungen festgestellt wurden. Der Vergleich von Drossel- und Drehzahlregelung spielt in der Praxis eine wichtige Rolle, da dieser für oder gegen einen teuren Frequenzumrichter entscheiden kann.

Ergebnis

Aus über 1000 untersuchten Messpunkten sind die Daten der Pumpen und deren Anordnungen aufbereitet worden. Mit der enormen Menge an erarbeiteten Daten konnten für Weiterbildungs- und Schulungszwecke vertiefte Erkenntnisse im Bereich Pumpenanlagen gewonnen und Schulungsunterlagen zusammengestellt werden. Diese dienen dazu, den Teilnehmern neues Wissen praxisnah zu vermitteln und sie in Bezug auf die Effizienz von Pumpenanlagen zu sensibilisieren. Für ein Unterrichtsmodul an der Hochschule wurde eine Vorlage für eine Laborübung erstellt. Diese ermöglicht es, zukünftigen Absolventen aktuelles Wissen mit in die Praxis zu geben.

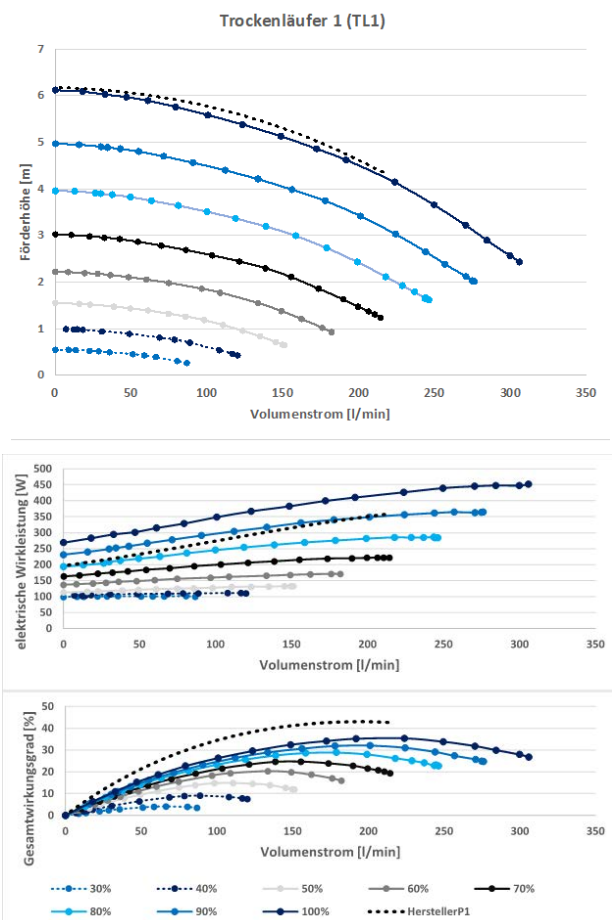


Abb. 2: Experimentell ermittelte Kennlinien einer Pumpe (Trockenläufer)



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Lukas Roth
Dipl. Ing. FH Joshua Lanter
SIGRIST-PHOTOMETER AG
Dipl. Ing. ETH Thomas Knodel
Produktentwicklung & Mechatronik

Durchflussregulierung für Photometer

Ausgangslage

SIGRIST-PHOTOMETER AG stellt optische Messgeräte (Photometer) für die Qualitätssicherung von Wasser und flüssigen Lebensmitteln her (Abb. 1). Für eine korrekte Messung muss ein konstanter Volumenstrom des flüssigen Mediums gewährleistet sein. Beim direkten Anschluss der Messgeräte an Rohrsysteme können Druckschwankungen in den Zuleitungen den Volumenstrom beeinflussen. Für eine reproduzierbare Messung wird deshalb ein Durchflussregler benötigt. Dieser gewährleistet bei schwankendem Eingangsdruck im Bereich von 0.5 bis 8 bar (relativ) einen konstanten Volumenstrom, der im Bereich von 0.5 bis 20 l/min eingestellt werden kann.



Abb. 1: Optisches Messgerät der Firma Sigrist

Vorgehen

Die Arbeit unterteilt sich in die vier Phasen Analyse, Konzept, Entwurf und Ausarbeitung. Nach intensiver Recherche und systematischer Lösungssuche erfolgte die Ausarbeitung des Lösungskonzeptes.

Mit Matlab/Simulink wurde das statische und dynamische Verhalten simuliert (Abb. 3). Das Funktionsmuster ist in einem hohem Detailierungsgrad konstruiert und es wurden Prüfplan, Risikoabschätzung und eine wirtschaftliche Betrachtung erstellt.

Funktionsweise: Der Volumenstrom wird über den hydrostatischen Druck auf den Schwimmer bestimmt und kann über die Höhendifferenz Schwimmer zu Schieber eingestellt werden. Der Regelkreis beinhaltet Düsen mit Schieber, den Schwimmer und den Füllstand. Über den konstanten Füllstand und konstanten Gegendruck in der Abflussleitung wird der abfließende Volumenstrom konstant gehalten. Der Regler funktioniert ohne elektrische Energieversorgung.

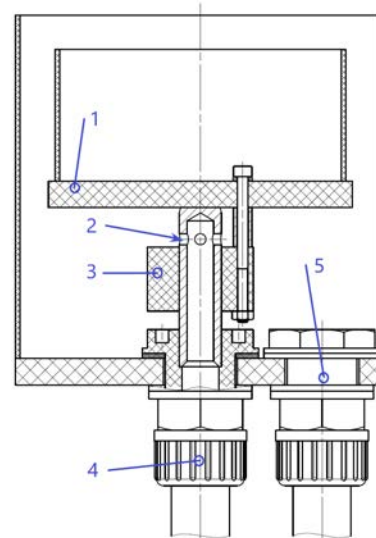


Abb. 2: Schnittansicht Volumenstromregler mit Schwimmer (1), Düse (2), Schieber (3), Zufluss (4) und Abfluss (5)

Ergebnis

Die Anforderung des Industriepartners, den Regler ohne elektronische Komponenten zu realisieren, konnte vollumfänglich erfüllt werden. Der einstellbare Volumenstrom von 0.5 bis 20 l/min wird auch bei Druckschwankungen in der Zuleitung konstant gehalten. Die erforderliche Genauigkeit der Regelgröße ist durch Simulation nachgewiesen - die Abweichung beträgt maximal $\pm 3\%$.

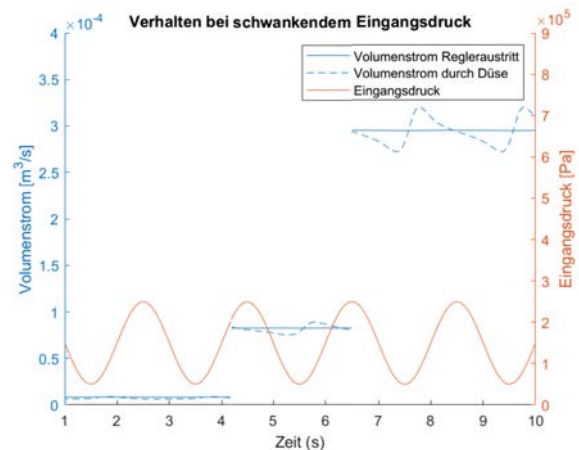


Abb. 3: Dynamische Simulation von unterschiedlichem Sollvolumenstrom bei gleichbleibender Druckschwankung



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Simon Schmitter
Dr. Rolf Kamps
smartmo AG
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller
Produktentwicklung & Mechatronik

Redesign der Helmbox für Veloparkplatz

Ausgangslage

In dieser Arbeit wurde das abschliessbare Staufach, auch als Helmbox bezeichnet, eines neuen und innovativen Veloparkplatzes weiterentwickelt. Dabei ist die jetzige Helmbox durch ein neues Konzept zu ersetzen. Die Herausforderung bestand in der Findung von Lösungsvorschlägen, die allen Anforderungen gerecht werden. Neben der Zugänglichkeit für die unterschiedlichsten Velos muss auch der Zugang für Fahrräder mit Kindersitz, mit Gepäcktaschen oder mit Gepäckkörben zum Staufach möglich sein. Deponierte Gegenstände müssen diebstahlsicher und vor Witterungseinflüssen geschützt sein. Das Lösungskonzept soll auch berücksichtigen, dass der Veloparkplatz nicht als Müllabstellplatz genutzt werden kann. Neben den erwähnten Anforderungen liegt ein weiterer Fokus auf der Reduzierung der Herstellkosten.



Abb. 1: Bestehende Ausgangssituation: Veloparkplatz mit ausziehbarer Schublade (1), Helmbox (2), Bildschirm für Sicherungs- und Entsicherungsvorgang (3), Verriegelungsmechanismus des Pedals (4), Radführung (5)



Abb. 2: Neue Lösung: Prototyp mit Führungsschienen (1), Energieversorgung für Kunden (2), Öffnungsmechanismus (3), Griffmulde zum Öffnen und Schliessen der Helmbox (4)

Vorgehen

In Anlehnung an die VDI Richtlinie 2221 Entwicklung technischer Produkte und Systeme wurden systematisch Lösungskonzepte entwickelt. Hierzu wurde die Gesamtfunktion in Teilfunktionen zerlegt und zu diesen Teilfunktionen wurden Teillösungen gesucht. Anhand einer Rangfolge und einer gewichteten Bewertung wurden die Teillösungen und die Gesamtlösungsvorschläge anschliessend bewertet. So konnte ein Konzept gefunden werden, dass alle Anforderungen optimal erfüllt. Konzept- und entwicklungsbegleitend wurden die Lösungen im CAD (Siemens NX) konstruiert. In einem weiteren Schritt wurden die Teile durch externe Lieferanten und in der Werkstatt der Hochschule Luzern gefertigt.

Ergebnis

Die Schnittstelle zum bestehenden Veloständer wurde so gewählt, dass der Prototyp auf das Grundgestell des vorhandenen Parkständers aufgeschraubt werden kann. Die Helmbox wurde auf Witterungsbeständigkeit geprüft und die Herstellkosten durch Minimierung des Materialeinsatzes und der Bearbeitungsschritte erheblich reduziert. Die Zugänglichkeit zum Staufach ist über drei Seiten gegeben und ermöglicht den ungehinderten Zugang, auch wenn Kindersitze oder Paktaschen am Velo montiert sind.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Martin Schön
Dipl. Ing. ETH Dejan Romancuk
Aurora Swiss Aerospace
Dipl. Ing. ETH Andreas Fleckenstein
Produktentwicklung & Mechatronik

Folding Propeller Design Concept

Introduction

Urban air mobility (UAM) is about extending the current passenger transport in urban environments into airspace. The population of urban areas is constantly increasing. The UAM is intended to counteract the resulting increase in urban transport on the ground. Autonomous air taxis will be used as transport components in the future. Aurora Swiss Aerospace is a development company affiliated to the Boeing Group. In connection with UAM, they are working on a concept study for an air taxi / passenger air vehicle (PAV, Fig.1). The PAV successfully made its maiden flight on 22 January 2019 in Manassas, Virginia, USA.

This autonomous flight system is a combination between an octa copter and an aircraft. During the flight phase, the eight unused engines and their propellers create high air resistances. The aim of this bachelor thesis is to define a concept for a folding propeller mechanism that minimizes this aerodynamic drag during the flight phase.



Fig. 1: Aurora's Passenger Air Vehicle

Procedure

After the task has been discussed in detail with the client, a requirement list is defined. This requirement list is compiled using a mission definition of the PAV. On the one hand, Aurora's inputs are used for the definition of the requirements review. On the other hand, the EASA certification specifications CS-23 (normal, utility, aerobatic, and commuter category aeroplanes) & CS-27 (small rotorcraft) are also considered. After considerable research, a morphological box is used to work out possible solutions for the subfunctions and to evaluate them with predefined weighted evaluation criteria. This evaluation provides the foundation for the subsequent concept development.

A calculation tool was used to approximate the loads on a propeller mount (Fig. 2). The preliminary sizing of the mounting support of the six propeller blades was performed with these loads.

Subsequently, a digital model was set-up by CAD (Fig. 3). Since the mechanism included a locking mechanism for the extended state, a multi-body simulation was carried out in Siemens NX Motion to examine the kinematics for the extension and retraction processes and to check their feasibility.

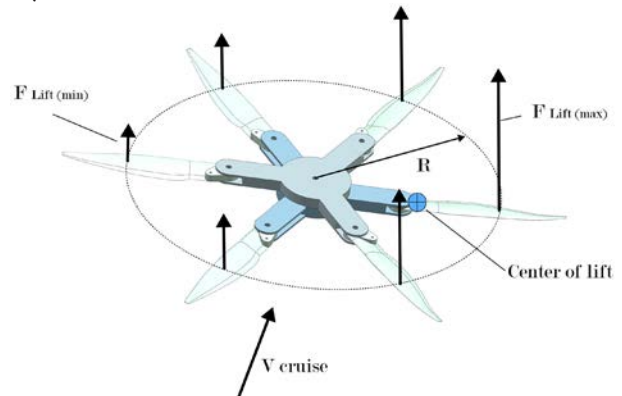


Fig. 2: Qualitative representation of the lift forces on the propeller blades

Results

The multibody simulation shows that the mechanism with its locking mechanism works. A further simulation shows, that the aerodynamic drag could be reduced by 34 % compared to a comparable five blade propeller at a cruise speed of 50 m/s. For the possible further examination of the project, the individual upcoming project steps are shown as well.

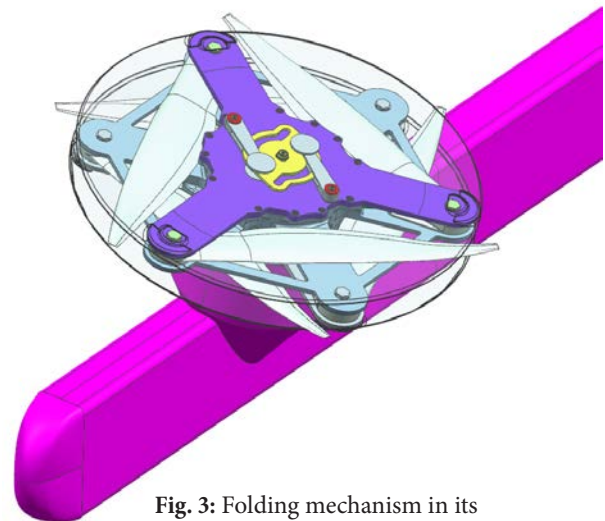


Fig. 3: Folding mechanism in its retracted configuration



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Pascal Schönbächler
Prof. Dr. Thomas Nussbaumer
QM Holzheizwerke von Holzenergie CH
Dr. Peter Neuenschwander
Energien, Fluide und Prozess**

Effizienzsteigerung automatischer Holzheizungen

Ausgangslage

Erneuerbare und nachhaltige Energieträger gewinnen in der heutigen Zeit immer mehr an Bedeutung. So auch Holzfeuerungen, welche in der Schweiz noch ein grosses, nicht ausgeschöpftes Potenzial erschliessen können. Daher ist die Entwicklung effizienter Holzfeuerungen von grossem Interesse. Grosse saisonale und insbesondere auch tageszeitliche Bedarfsschwankungen stellen eine Herausforderung für Wärmeerzeuger und deren Betriebsweise dar. Der geringe Wärmebedarf an Sommertagen führt dazu, dass die Feuerungen im Sommer entweder nahe der minimalen Teilleistung oder sogar getaktet betrieben werden.

Ziel dieser Arbeit ist es ein Berechnungsmodell zu erarbeiten, mit dem verschiedene Betriebsarten einer automatischen Holzfeuerung mit Wärmespeicher untersucht werden können.



Abb. 1: Monovalente Holzfeuerung mit Speicher

Vorgehen

In dieser Arbeit wurde ein Simulationsmodell erstellt, welches den Betrieb einer monovalenten Holzfeuerung mit Wärmespeicher für unterschiedliche Leistungsprofile während 24 Stunden modelliert. Für eine differenzierte Betrachtung können Parameter zu Feuerung, Speichergrosse und Lastprofil vorgegeben werden.

In einem zweiten Schritt wurde anhand verschiedener Simulationen untersucht, welchen Einfluss die Betriebsweise auf die Effizienz der Feuerung hat.

Ergebnis

Die Untersuchungen zeigen, dass eine kontinuierliche Betriebsweise der Feuerung bei einem dem Bedarf angepassten Leistungsniveau den besten Nutzungsgrad über 24 Stunden erreicht. Um einen kontinuierlichen Betrieb zu gewährleisten ist eine kleine minimale Teilleistung notwendig. Beim kontinuierlichen Betrieb gewinnt auch der Kesselwirkungsgrad im Teilleistungsbereich immer mehr an Bedeutung. Dieser soll über den gesamten Leistungsbereich konstant sein oder bei Teilleistung sogar höhere Werte erreichen, um eine bestmögliche Effizienz zu erzielen.

Bei getakteter Betriebsweise sind die Bereitschaftsverluste während des Standby-Betriebs massgeblich verantwortlich für den niedrigeren Nutzungsgrad.

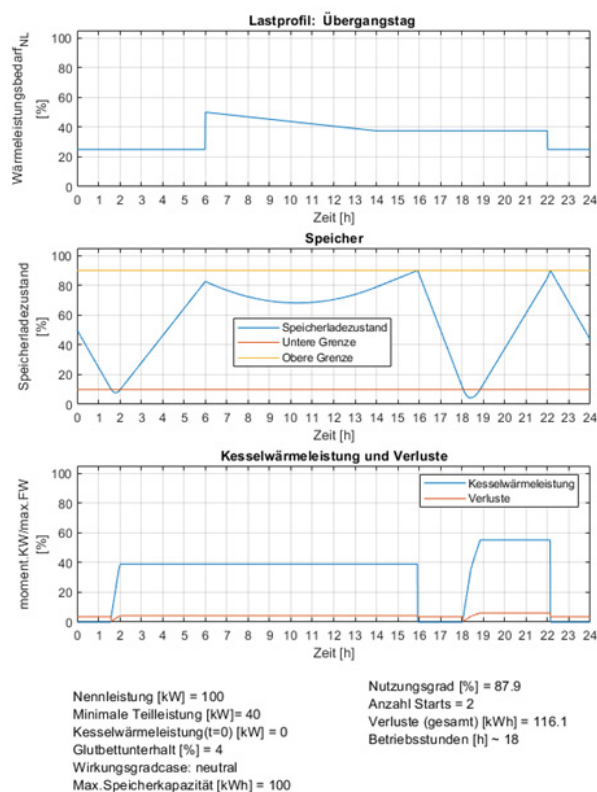


Abb. 2: Grafische Darstellung eines Simulationsergebnisses



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Marco Schöni
Prof. Dr. Carsten Haack
maxon motor ag
Dr. Rudolf Morach
Produktentwicklung & Mechatronik**

Universalwerkstückträger für Laserschweissanlage

Ausgangslage

Die Firma maxon entwickelt, produziert und vertreibt Elektroantriebe bis zu 2050 Watt Leistung. Die Elektromotoren können dank des maxon-Baukastensystems mit verschiedenen Getrieben oder Encodern kombiniert werden. Um die Komponenten miteinander zu verbinden, wird in den meisten Fällen Laserschweissen angewendet. Die drei unabhängigen Motorlinien betreiben jedoch insgesamt fünf verschiedene Systeme, um die Laserschweissungen zu erstellen. Zudem ist der Eigenbau der Laserschweissanlage bereits über zwanzig Jahre alt. Es besteht daher Bedarf für eine Generalisierung des Prozesses. Daher wurde ein Projekt ausgelöst, um eine neue Laserschweissanlage für alle Kompetenzzentren zu entwickeln. Als Teil dieses Projekts wurde im Rahmen einer Bachelor-Thesis ein Universalwerkstückträger für die neue Laserschweissanlage entwickelt. In Abb. 1 sind drei verschiedene Antriebskombinationen der Motorreihe DCX dargestellt, wobei das Getriebe jeweils mittels Laserschweissen mit dem Motor zusammengefügt wird.



Abb. 1: DCX-Motorreihe

Vorgehen

Im Rahmen der Bachelor-Thesis wurde ein Lasten- und Pflichtenheft für den Universalwerkstückträger erstellt und die Vorrichtung dementsprechend entwickelt. Der Prozess des Laserschweissens bei maxon wurde eingehend untersucht. Anhand der daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden die Last und Pflicht des Universalwerkstückträgers beschrieben. Aus drei generierten Lösungsvarianten wurde eine evaluiert und ausgearbeitet.

Ergebnis

Alle Fertigungsunterlagen für den Werkstückträger wurden erstellt und für die Beschaffung freigegeben. Der Werkstückträger ist für alle Baugrößen und alle Motortypen konzipiert und kann mit einfachen Adapterstücken umgerüstet werden. Abb. 2 zeigt den Universalwerkstückträger mit einer eingespannten Antriebskombination und der schwarz dargestellten Laseroptik. Der blaue obere Teil des Werkstückträgers kann mit einem kolbenstangenlosen Pneumatikzylinder nach oben gefahren werden. Wird der Zylinder in der Gegenrichtung betrieben kann eine Antriebskombination axial eingespannt werden. Die obere Aufnahme verfügt über einen Riementrieb, damit die nötige Drehbewegung der Antriebskombination ausgeführt werden kann. Die blaue Grundplatte unten wird über eine Drehmomentabstützung in der Laserschweissanlage statisch fixiert. Die untere Werkzeugaufnahme ist in der Grundplatte drehbar gelagert und mit einer Achse der Laserschweissanlage gekoppelt, welche die Laseroptik auf die Schweissung ausrichtet. Der Werkstückträger dreht die Kombination und der Umfang kann je nach Belieben über 360° oder segmentweise geschweisst werden. Die Vorrichtung wird nun im Herbst 2020 beschafft, in Betrieb genommen und getestet.



Abb. 2: Universalwerkstückträger mit eingespannter Antriebskombination und Laseroptik



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Janick Sidler
Prof. Dr. Gerhard Székely
maxon motor ag
Dipl. Ing. ETH Paul Joachim Schüngel
Produktenwicklung & Mechatronik**

Konzept eines Windgenerators für den Mars

Ausgangslage

Die NASA plant für die Mars 2020 Mission, eine Helikopterdrohne auf dem Mars fliegen zu lassen. Daher kam die Idee, dieses Konzept umzudrehen, um auf dem Mars mit Windstrom zu produzieren. Die Atmosphäre des Mars besteht hauptsächlich aus CO₂, hat eine 100-mal kleinere Dichte als auf der Erde und erreicht bei Sturm Geschwindigkeiten bis 28 m/s. Aktuelle und geplante Rover haben einen Bedarf von ca. 120 W Stromleistung, was mit Windkraft durchaus erwirtschaftet werden kann (Abb. 1).

Windkraftanlagen sind gross und können nicht mit einer Sonde im fertigen Zustand zum Mars transportiert werden. Daher soll ein faltbarer Rotor entwickelt werden. Das Konzept soll zusammen mit Solarkollektoren ein autarkes Energiesystem bilden, welches auch bei Sandstürmen die Grundfunktion eines Mars Landers aufrechterhalten kann.

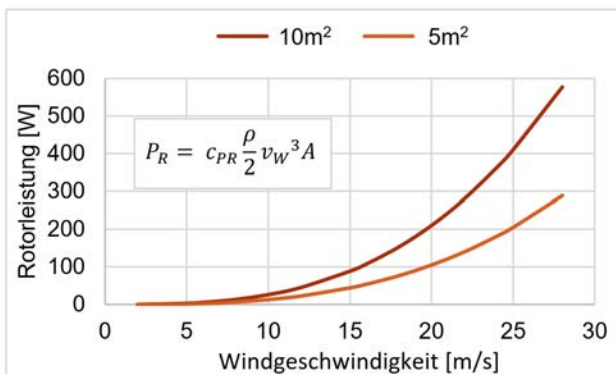


Abb. 1: Rotorleistung in Abhängigkeit der Anströmfläche des Rotors.

Parameter Marsatmosphäre: $\rho = 0.015 \text{ kg/m}^3$, $c_{PR} = 0.3$

Vorgehen

Basierend auf den Ergebnissen des vorangehenden Industrieprojekts und weiteren Kundenwünschen ist eine detaillierte Anforderungsliste entstanden. Die Wahl des Rotors fiel auf einen Vertikalachsrotor mit geraden Rotorblättern. Dieser hat den Vorteil, dass er windrichtungsunabhängig Strom produzieren kann. Die Grösse eines möglichen Marskonzepts wurde aus den Abmessungen des InSight Landers abgeleitet. Damit jedoch die Kernpunkte des Konzepts besser verstanden und geprüft werden können, soll in der Thesis ein Prototyp gebaut werden, dessen Dimensionen einerseits Aussagen erlauben, andererseits aber mit einem Personewagen gut transportabel ist. Die schnelle Umsetzbarkeit der Konstruktion wurde dabei stark gewichtet. Daher wurden viele Teile des Rotoraufbaus im Rapid Prototyping Verfahren hergestellt oder gelasert.

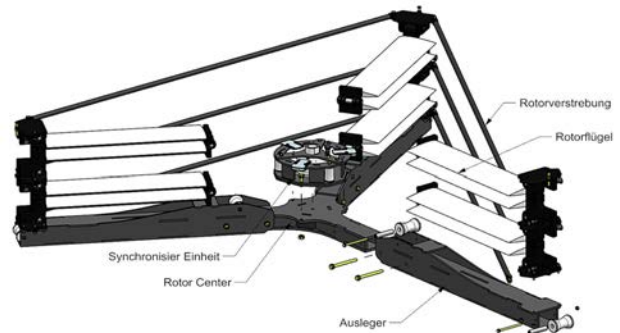


Abb. 2: Explosionszeichnung des Rotoraufbaukonzeptes

Ergebnis

Der Prototyp ist fertig ausgearbeitet und alle Teile wurden gefertigt. Das System kann in die Einheiten Lagerung und Generator, Rotor und Stützstruktur gegliedert werden. Die Lagerung erfolgt klassisch mit Kugellagern in einer Fest-Los-Kombination. Die Stützstruktur basiert auf Bosch Profilen und soll den Lander simulieren. Das Kernstück ist jedoch der Rotor (Abb. 2). Dieser wird aus seinem zusammengefalteten Zustand entriegelt und entfaltet sich selbstständig über Schenkelfedern. In der Mitte des Rotors ist die Synchronisier-Einheit, welche das synchrone Ausfahren der Flügel gewährleistet. Diese wickelt ein Seil ab, welches durch die Ausleger gleitet und an den Flügelenden befestigt wird. Damit dieser Vorgang nicht zu schnell passiert, wurde eine Wirbelstrombremse implementiert. Die ausgeklappten Flügel rasten in der Endposition mittels Rastbolzen ein.

Der Prototyp wiegt – ohne Sockel – 16 kg und hat eine Anströmfläche von 1.8 m² bei einer Rotorhöhe von 1.5 m und einem Durchmesser von 1.2 m. Bei einer maximalen Windgeschwindigkeit von 10 m/s wird mit einem speziellen Maxon EC Generator (auf der Erde) eine Leistung von circa 420 W erzeugt.



Abb. 3: Konzept Mars-Windgenerator, links: Transportzustand, rechts: einsatzbereiter Zustand



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Adrian Spichtig
Dr. Rolf Kamps
Schuler Systemtechnik GmbH
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller
Produktentwicklung & Mechatronik**

Dimensionierung und Zertifizierung eines mobilen Dachbefestigungspunktes für die persönliche Sicherung gegen Absturz

Ausgangslage

Um die Sicherheit während Arbeiten auf einem Hausdach zu gewährleisten, müssen Personen sich gegen Absturz sichern. Bis anhin wird diese Sicherheit durch fest fixierte Bauteile (Anschlageinrichtungen) gewährleistet. Diese Anschlageinrichtungen stellen die Verbindung zum Tragwerk oder zur Dachkonstruktion dar und sind fest und dauerhaft in der Dachkonstruktion montiert. Der Handwerker ist dort mit einem Klettergurt und Seil am Anschlagpunkt gesichert. Durch die Art der Befestigung (hier werden Dichtungsbahnen durch Schrauben durchstossen) besteht die Möglichkeit, dass die Unterkonstruktion über die Jahre feucht und morsch wird. Die ursprüngliche Festigkeit geht verloren und somit ist die Sicherheit nicht mehr gewährleistet. Dieses Risiko ist nur schwer erkennbar da die Dachkonstruktion mit Ziegeln bedeckt wird. Mit einem mobilen Dachbefestigungspunkt, der unmittelbar vor Betreten des Daches montiert wird, kann dieses Risiko vermieden werden. Bei der temporären Befestigung wird zuerst die Dachkonstruktion lokal freigelegt und durch den Handwerker auf mögliche Mängel geprüft. Erst dann wird die mobile Sicherungsvorrichtung in der Dachkonstruktion montiert. Basierend auf ein bereits entwickeltes Konzept (Abb. 1) wurde diese Idee in Absprache mit der Suva weiterentwickelt.

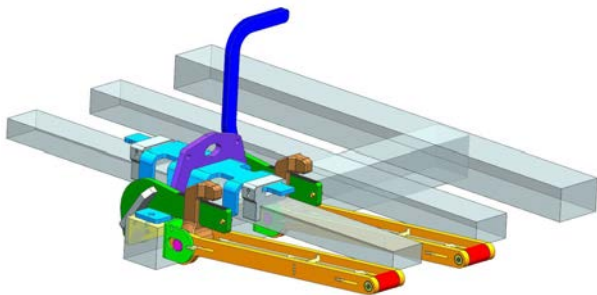


Abb. 1: Konzeptentwurf mobiler Dachbefestigungspunkt

Vorgehen

Zuerst wurden die Anforderungen, die die Norm EN795 zur PSA (persönlichen Schutzausrüstung) beschreibt, zusammengestellt. Die Norm gibt auch Auskunft über die Prüfverfahren, die Kennzeichnung und die vom Hersteller zur Verfügung zu stellenden Dokumentationen. Anhand der Prüflasten für die Bauteilprüfung (EN795) werden Berechnungen der relevanten Bauteile erstellt und die Werkstoffe ermittelt. Mittels FEM wurden die Lastfälle simuliert und die Bauteilgeometrie optimiert, welche in Absprache mit der Suva in Luzern geschah. Die ersten Prototypen wurden im Werkstofflabor der Hochschule Luzern Belastungsprüfungen unterzogen.

Während der gesamten Arbeit wurde begleitend die Bauteildokumentation vervollständigt und die notwendigen Begleitdokumente für eine spätere Baumusterprüfung bei der Suva erstellt.



Abb. 2: Prototyp des mobilen Dachbefestigungspunktes

Ergebnis

Die Geometrie der Bauteile wurde mittels FEM-Berechnungen mit den Prüflasten in den verschiedenen Prüfrichtungen ausgelegt. Prototypen (Abb. 2) wurden gefertigt und Belastungsprüfungen durchgeführt. Die Bauteildokumentation wurde erarbeitet.

Mit den ersten Prototypen konnte der Klemmvorgang deutlich optimiert werden und in zwei von vier unterschiedlichen Belastungsrichtungen wurden die Prüflasten sicher gehalten. Bei den Versuchen zeigte sich, dass in den Belastungsrichtungen rechtwinkelig zur Spannrichtung weitere Optimierungen notwendig sind. Die Holzkonstruktion verformt sich in Belastungsrichtung und die Klemmvorrichtung verliert so an Klemmspannung. In einer weiterführenden Arbeit ist der Prototyp in Absprache mit der Akkreditierungsstelle dahingehend anzupassen, dass die geforderten Prüfkräfte auch in diesen Belastungsrichtungen aufgenommen werden können.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Ivo Steiner
Prof. Dr. Ulf Christian Müller
INNOTECH Ingenieurgesellschaft
Dr. Joel Schlienger
Energien, Fluide und Prozesse

Strömungsoptimierung von Trocknungskammern

Ausgangslage

In Trocknungskammern (TK) wird konditionierte Trocknungsluft durch Hordenwagen (HW) und somit über das Feuchtgut geführt. Die Anwendung in der Landwirtschaft erfordert ein robustes Design, d. h. eine gleichmässige Trocknung für gängige Trocknungsgüter und unabhängig von der Befüllung der TK. Das wird erreicht, indem man die Trocknungsluft gleichmässig über das Feuchtgut führt. Dieses «Verteiler / Sammler»-Problem gilt es mit geringem Druckverlust zu lösen. Am Kompetenzzentrum Fluidmechanik und Hydromaschinen (CC FMHM) an der Hochschule Luzern (HSLU) wurde eine Studie, mithilfe von Computational Fluid Dynamics (CFD), über TK der Firma Innotech durchgeführt. Dies führte zur Ausarbeitung des Konzeptvorschlags Lochblech (Abb. 1). Dieser weist ab einem Verlustbeiwert von $\zeta = 2$ am Lochblech eine homogene Strömungsverteilung auf. In der Bachelor-Thesis soll die CFD-Studie mit Strömungsmessungen validiert und die TK im CFD weiter optimiert werden.

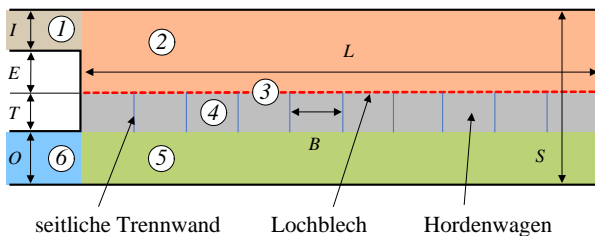


Abb. 1: Schematische Darstellung Konzeptvorschlag Lochblech; Eintrittskanal (1), Eintrittskammer (2), Lochblech (3), Hordenwagen (4), Austrittskammer (5) und Austrittskanal (6)

Vorgehen

Aufgrund der einfachen Konstruktion und des robusten Designs wird im Windkanaltestaufbau (Abb. 2) der Konzeptvorschlag Lochblech (Abb. 1) anhand von Ähnlichkeitsgesetzen im Modellmassstab abgebildet. Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit beschränkt sich auf die HW am Testaufbau und findet mittels Laser Doppler Anemometrie (LDA) statt. Um die Strömungsverteilung in den HW erfolgreich zu erheben, waren diverse Anpassungen am Lochblech des Testaufbaus und am Messraster der LDA notwendig. Die Validierung erfolgt anhand des Vergleiches der Strömungsverteilung in den aneinandergereihten HW. Die Strömungsverteilung wird mit Trendpolynomen zweiten Grades, die auf den hordenwagengemittelten Messdaten basieren, vereinfacht dargestellt.

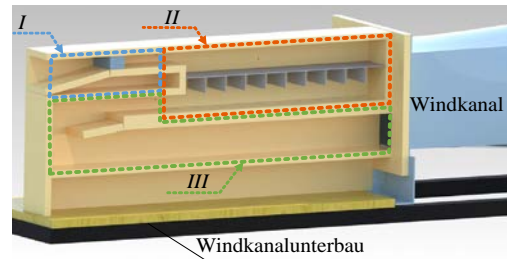


Abb. 2: CAD-Render des Windkanaltestaufbaus ohne zugewandte Verkleidung; Ansaugbereich (I), TK (II) und Verbindungsstück zum restlichen Windkanal (III)

Ergebnis

Am normalen Betriebspunkt der TK (Verlustbeiwert des Lochblechs $\zeta = 2.2$) weichen die normierten Trendpolynome der Absolutgeschwindigkeit von CFD und LDA (Abb. 3) über die Gesamtlänge L (Abb. 1) um 3.85 % voneinander ab. Der CFD-Modellierungsansatz wurde ebenso, analog zum normalen Betriebspunkt, bei einem reduzierten Verlustbeiwert untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass sich die normierten LDA- und CFD-Trendpolynome über die Länge L (Abb. 1) im Schnitt um 1.35 % unterscheiden.

Die Validierung unter normalen Betriebsbedingungen und mit reduziertem Verlustbeiwert am Lochblech zeigen auf, dass das CFD-Modell in der Lage ist die Geschwindigkeitsverteilung in den HW qualitativ korrekt abzubilden. Quantitativ ist zwischen CFD-Berechnungen und LDA-Messung eine Abweichung festzustellen. Das CFD-Modell bildet die Strömungsverteilung in den HW adäquat ab. Mit dem validierten CFD-Modell besteht nun die Möglichkeit TK weiter zu optimieren.

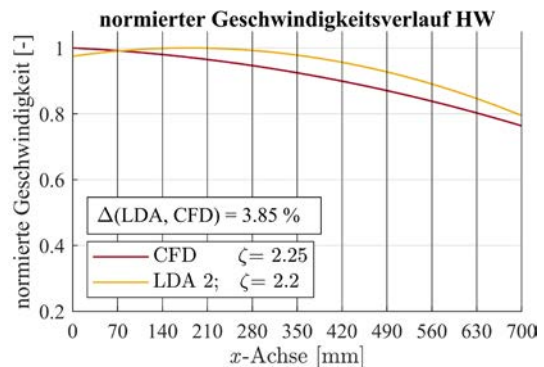


Abb. 3: Gemessener Geschwindigkeitsverlauf (LDA) in den HW mit korrespondierendem Verlauf der Berechnung (CFD) am normalen Betriebspunkt der TK



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Johannes Togan
Prof. Dr. Johann Lodewyks
Bucher Hydraulics AG
Dipl. Ing. FH Roger Dubach
Produktentwicklung & Mechatronik**

Aufbau und Inbetriebnahme eines inversen, hydraulischen Pendels

Ausgangslage

Bucher Hydraulics hat die neuartige AX-Konstantpumpe entwickelt (Abb. 1), die nach dem Floating Cup Prinzip funktioniert. Diese Bauart ermöglicht in Kombination mit einem Elektromotor auch bei hohem Druck und kleinster Drehzahl eine dynamische Verdrängersteuerung mit hohem Wirkungsgrad. Um die Überlegenheit dieser Pumpe zu demonstrieren, hat das Bucher Hydraulics Advanced Technology Team einen Demonstrator aufgebaut, der direkt mit MATLAB/Simulink geregelt und gesteuert wird.

Ziel dieses Projektes ist es, den Klassiker der Regelungstechnik - das inverse Pendel - am Demonstrator zu realisieren. Anders als bei üblichen Realisierungen des inversen Pendels wird die Kraft auf den Schlitten nicht durch einen Zahnriemen übertragen, sondern über die Hydraulik. Einzigartig an diesem Projekt ist, dass durch die neue Pumpe keine Ventile zur Steuerung der Bewegungsrichtung des Hydraulikzylinders erforderlich sind. In der vorangegangenen Industriearbeit «Inverses, hydraulisches Pendel» wurden die benötigten Übertragungsfunktionen bestimmt und ein Regelalgorithmus entwickelt und erfolgreich getestet. Dazu musste das Pendel noch manuell aufgestellt werden, stabilisierte sich danach aber mit Hilfe eines LQR-Reglers von selbst.

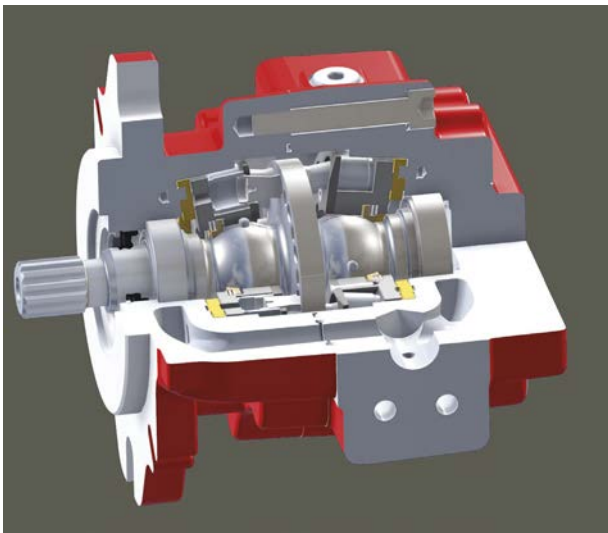


Abb. 1: Bucher Hydraulics AX-Konstantpumpe



Abb. 2: Demonstrator, Pendel im eingeschwungenen Zustand

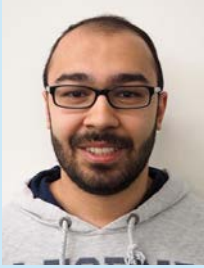
Vorgehen

Damit das System agiler reagiert, wurde ein neuer Zylinder mit einer kleineren Fläche montiert. Daraus resultierte eine höhere Schlittengeschwindigkeit. Für das neue System wurden die Übertragungsfunktionen hergeleitet, im Simulink simuliert und das Balancieren getestet.

Für das automatische Aufschwingen des Pendels wird ein Energieregler verwendet. Sobald das Pendel in der Nähe des oberen Gleichgewichtspunktes ist, wird vom Energieregler zum LQR-Regler gewechselt. Um allfällige störende Einflüsse auf die Regelung zu identifizieren wurde eine Frequenzanalyse durchgeführt. Für den optimalen Ablauf wurden mehrere Tests durchgeführt und die Parameter der Regler optimiert.

Ergebnis

Die Frequenzanalyse zeigte, dass das System keine störenden Einflüsse während dem Betrieb aufweist. Das Pendel konnte erfolgreich von der unteren Ruhelage in die obere Position aufgeschwungen und anschließend balanciert werden. Um die Agilität der neuen AX-Konstantpumpe zu veranschaulichen, wurde ein Programmablauf konzipiert: Der Schlitten fährt im eingeschwungenen Zustand verschiedene Positionen nach links und rechts an. Das Pendel kann fallen gelassen und anschließend wieder aufgefangen werden. Zusätzlich fährt der Schlitten im eingeschwungenen Zustand einen Sinus mit einer variablen Frequenz in beide Richtungen.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Muarem Usul
Dipl. Ing. ETH Marco De Angelis
Bodus GmbH
Dr. Giovanni Mastrogiacomo
Produktentwicklung & Mechatronik**

Weiterentwicklung des MidiCoater für Kanalreinigungen

Ausgangslage

In der Kanaltechnik kommen Anlagen wie der MidiCoater zum Einsatz, die als Reinigungs- und Beschichtungsgerät verwendet werden. Dazu werden Werkzeuge wie Bürsten oder Kettenschleuder an flexiblen Wellen angebracht und in bis zu 30 m tiefe Kanäle eingeführt. Die Werkzeuge werden durch aussenliegende Motoren angetrieben, welche grosse Momente aufbringen können, um die entstehenden Reibmomente zu bewältigen. Die rotierenden und beweglichen Teile sind einem grossen Verschleiss unterworfen. Weitere Schwachstellen führen zu ungleichmässigen Beschichtungen. Deshalb soll der Midicoater weiterentwickelt und die Schwachstellen eliminiert werden.

In einer Vorarbeit waren die Schwachstellen analysiert und neue Konzepte entwickelt worden. Es wurde entschieden ein DC-Motor mit in das Rohr zu führen und auf den aussenliegenden Motor zu verzichten. Ein Funktionsmuster wurde gebaut und getestet. Aus den Erkenntnissen soll nun das Konzept finalisiert und ein Prototyp gebaut werden.



Abb. 1: Funktionsmuster. Motor eingebaut in einem Gehäuse; mit Zentrierung für das Einmitten im Rohr

Vorgehen

Das Funktionsmuster wurde optimiert. Dabei wurden Versuche durchgeführt, um ein optimales Durchkommen durch die Rohre zu gewährleisten. Knackpunkt waren die 90°-Rohrkrümmen. Anhand der Erkenntnisse wurde ein kompakterer Motor ausgewählt und das Gehäuse des Motors optimiert. So konnte das Durchkommen durch den Rohrkrümmer gewährleistet werden. Um das Produkt zu verbessern sind verschiedene Funktionen, wie z.B. die Dichtheit des Gehäuses, getestet worden.



Abb. 2: Versuche in Rohrkrümmern

Ergebnis

Auf den aussenliegenden Motor wird verzichtet. Die Werkzeuge werden nun direkt von einem kleinen DC-Motor angetrieben. Die neu entwickelte Zentrierung gewährleistet eine gleichmässige Beschichtung und Reinigung des Kanals. Durch die kompakte Bauweise der Baugruppe mit kleinem Motor und flexibler Zentrierung wird das Durchkommen durch die Rohrkrümmer gewährleistet.

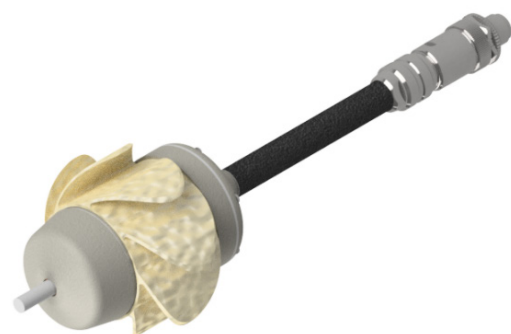


Abb. 3: Das Endprodukt. Die Kanalsonde mit integriertem Motor



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Janick Zehnder
Prof. René Bärtsch
Institut IME, CC Mechanische Systeme
Dipl. Ing. ETH Beat Bucher
Produktentwicklung & Mechatronik

Ölfederung für Mountainbike

Ausgangslage

Bestehende Hinterradfederungen von Mountainbikes setzen auf rein mechanische oder pneumatische Prinzipien. Die Idee der vorangehenden Industriearbeit, eine rein hydraulische Federung basierend auf einem Polydimethylsiloxan zu entwickeln, soll mittels der Konstruktion, Berechnung, Fertigung und Inbetriebnahme eines Funktionsmusters getestet werden. Es gilt zu untersuchen, ob das angedachte Prinzip eines Hochdruckzylinders in Plungerbauweise (Abb. 1) funktioniert und eine repräsentative Federkennlinie aufgenommen werden kann.



Abb. 1: Funktionsmuster

Vorgehen

Den ersten Konstruktionsentwurf der Industriearbeit gilt es grundlegend zu überarbeiten und wo erforderlich anzupassen. Parallel werden Festigkeitsnachweise hochbeanspruchter Komponenten durchgeführt, bevor die Übergabe an die hochschulinterne Fertigung erfolgt. Während der Fertigungszeit erfolgt die Evaluierung geeigneter Sensoren seitens der Messtechnik und die Planung des Prüfstandes. Mit dem gefertigten Funktionsmuster wird der Prüfstand (Abb. 2) in Betrieb genommen und die Messreihe gestartet. In einem ersten Schritt werden Funktionstests durchgeführt,

um die statische Dichtheit sowie ein luftfreies Befüllen des Zylinders sicherzustellen. Die zweite Phase dient dem statischen Federkennliniennachweis. Es werden unterschiedliche Eintauchtiefen angefahren und die zeitlichen Verläufe der Fluidtemperatur und des Druckes aufgezeichnet.

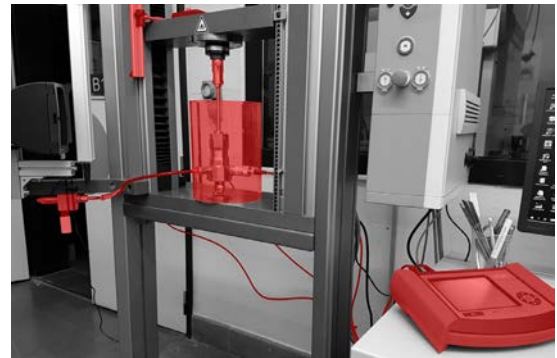


Abb. 2: Prüfstand

Ergebnis

Die Messungen zeigen, dass das angedachte Konzept funktioniert und mit dem erarbeiteten Prüfstand eine repräsentative Federkennlinie aufgenommen werden kann (Abb. 3). Die evaluierte Stangendichtung von Trelleborg weist keinerlei Leckage auf und überzeugt durch ihren mehrteiligen Aufbau. Eine Überarbeitung empfiehlt sich im Bereich der statischen Dichtungen und dem Entlüftungskonzept. In einem nächsten Schritt sollen dynamische Tests durchgeführt werden, um die Größenordnung für eine stationäre Betriebstemperatur zu erhalten.

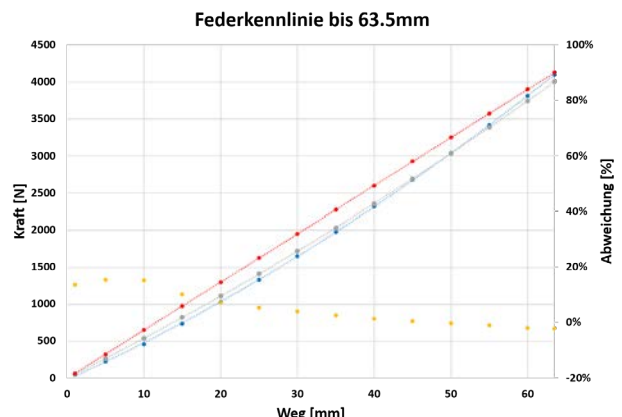
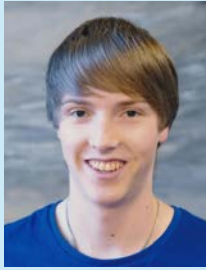


Abb. 3: Federkennlinie



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Patrick Zraggen
Dr. Adrian Koller
SBB AG
Dipl. Ing. Paul Joachim Schüngel
Produktentwicklung & Mechatronik**

Konzept und Optimierung Schneideinheit für autonomen Roboter

Ausgangslage

Um das ÖV-System des Unternehmens SBB aufrecht zu erhalten, müssen 3236 km betriebene Strecken gewartet werden. Zu dieser Wartung gehört die Vegetationsbekämpfung in den Bereichen C, D und E beim Geleise (Abb. 1). Momentan wird dies durch den Einsatz des Herbizids «Glyphosat» oder durch eine manuelle Vegetationsbekämpfung realisiert. Die manuelle Vegetationsbekämpfung verursacht etwa die zehnfachen Kosten bei geringerer Wirkung. Mittelfristig muss davon ausgegangen werden, dass das Herbizid «Glyphosat» verboten wird, da es als potenziell krebserregend gilt. Aus diesem Grund sucht das Unternehmen SBB eine autonome Roboterlösung, welche eine möglichst effiziente Schneideinheit besitzt, um die Vegetation in den Bereichen C, D und E erfolgreich zu bekämpfen.

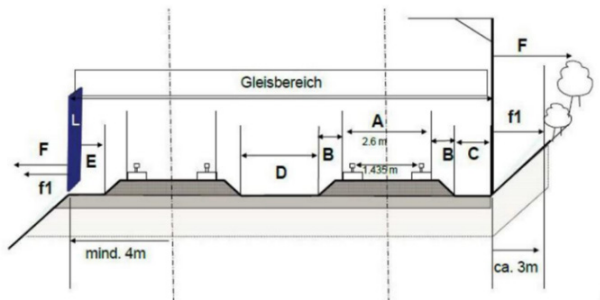


Abb. 1: Schema des Gleisaufbaus in Unterteilung der einzelnen Gleisbereiche A bis F

Vorgehen

Zu Beginn der Arbeit wurden acht unterschiedliche Schneidkonzepte erarbeitet, welche anhand der Anforderung an den autonomen Roboter miteinander verglichen wurden. Damit die daraus resultierenden Lösungen verifiziert werden können, wurde ein Versuchsaufbau erstellt. Mit diesem konnte eine der wichtigsten Anforderungen, die benötigte Leistung

des Schneidsystems pro Millimeter Mähbreite, ermittelt werden. Die Leistungsdaten wurden an drei verschiedenen Vegetationsmodellen, welche aus Plastikstrohhalm, Zahnstochern und Reisstroh bestanden, ermittelt. Mit den Leistungsdaten wurde anschliessend das Lösungskonzept, welches Anfangs theoretisch aufgestellt wurde, überprüft.



Abb. 2: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Leistungsaufnahme bei der «Vegetation» Plastikstrohhalm

Ergebnis

Als Ergebnis dieser Arbeit wurde die optimale Schneideinheit bestimmt, welche sich durch eine geringe Leistungsaufnahme für 500 mm Schnittlänge und sauberes Schneiden auszeichnete. Dieses Konzept benötigt für eine Schnittlänge von 500 mm nur 27 Watt, um eine Vegetation aus Plastikstrohhalm abzuschneiden (Abb. 3). Es handelt sich hierbei um das Schneidkonzept Messerbalken, welches sich gegenüber den anderen sieben Schneidkonzepten auszeichnete. Die Variante der Stihl HSA 25 mit dem Grasmesseraufsatz erwies sich als der effizienteste der getesteten Balkenmäher. Dieses System ist somit das beste Schneidsystem für die Anwendung eines autonomen Roboters in der Vegetationsbekämpfung.

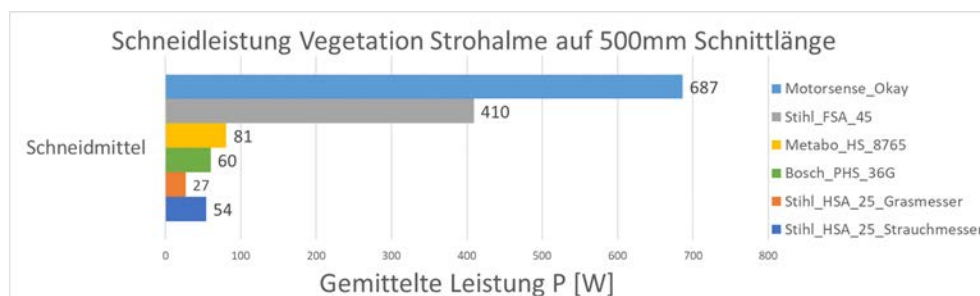


Abb. 3: Notwendige Leistung für 500 mm Schnittlänge der getesteten Schneidkonzepte



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Lena Zihlmann
Prof. Dr. Carsten Haack
Dätwyler AG
Dr. Rudolf Morach
Produktentwicklung & Mechatronik

Aufbau eines Prototypen für Demonstrator «Inchworm»

Ausgangslage

Im Fokus vieler Forschungsarbeiten stehen derzeit eine Reihe von neuartigen, elektroaktiven Materialien, darunter auch das elektroaktive Polymer (EAP). Dies sind Polymere, welche die zugeführte elektrische Energie durch elastische Verformung in eine mechanische Bewegung umwandeln. Seit 15 Jahren wird intensiv an der Realisierung neuartiger Aktorprinzipien geforscht, welche auf der elektromechanischen Verformung eines Aktors basieren. Diese Arbeit befasst sich mit der konzeptionellen Entwicklung und Ausdetaillierung eines vollfunktionsfähigen Demonstrators, welcher die lineare Fortbewegung in einem Plexiglasrohr (Polymethylmethacrylat, PMMA) mittels der elektromechanischen Verformung eines Stapelaktuators des Start-up Unternehmens CTsystems veranschaulichen soll. Hauptaufgabe war, Konzeptvarianten für Endstücke, welche den Kontakt zwischen Aktuator und dem PMMA-Rohr bilden, zu erarbeiten und ein finales Konzept zu eruieren.

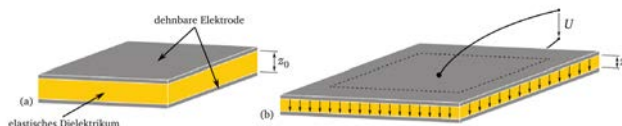


Abb. 1: Aufbau und Funktionsprinzip von dielektrischen Elastomeraktoren. (Flittner, 2015)

Vorgehen

Zu Beginn dieser Arbeit wurde das favorisierte Konzept aus einer vorangegangenen Masterarbeit analysiert und die massgebenden Parameter für die konzeptionelle Entwicklung von Endstücken festgelegt, sowie die erforderliche Eigenschaften definiert, welche von den Endstücken erfüllt werden müssen. Mittels Kreativitätstechniken wurden sechs Konzeptvarianten erarbeitet, welche auf den Geometrieansätzen der «Lippe» und der «Transformation einer axialen in eine radiale Bewegung» basieren. Sie wurden durch den Paarweise-Vergleich und einer Nutzwertanalyse technisch bewertet. Von den favorisierten Konzepten wurden Prototypen für die anschließende Prüfung hergestellt.

Das Reibverhalten der bevorzugten Konzeptvarianten wurde in Sperr- und in Gleitrichtung mittels Zug und Druckkräften geprüft. Jene Konzeptvarianten, welche alle erforderlichen Eigenschaften erfüllten, wurden anschliessend am Aktuator angebracht. Zur Ansteuerung des Aktuators wurden mittels der Software Sateco V1.6 und einer Aktuatorsteuerung Hochspannungsimpulse als Singlepuls oder in Wellenform erzeugt. Durch die Prüfung am Aktuatorelement zeigte sich ob die selektionierten Konzeptvarianten eine Fortbewegung ermöglichen.

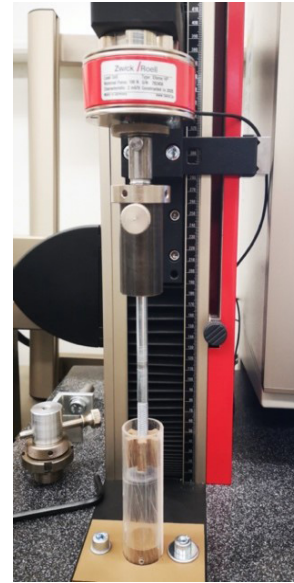


Abb. 2: Erstellter Laborprüfstand

Ergebnis

Mit der Konzeptvariante Federstahlblech am Aktuator konnte ein funktionierender, sich im PMMA fortbewegender «Inchworm» erzeugt werden. Diese Variante erfüllt auch gewünschte Eigenschaften des Industriepartners bezüglich Miniaturisierung und Herstellungskosten und bildet eine gute Basis für die Weiterentwicklung zu einer produktionsfähigen Anwendung.

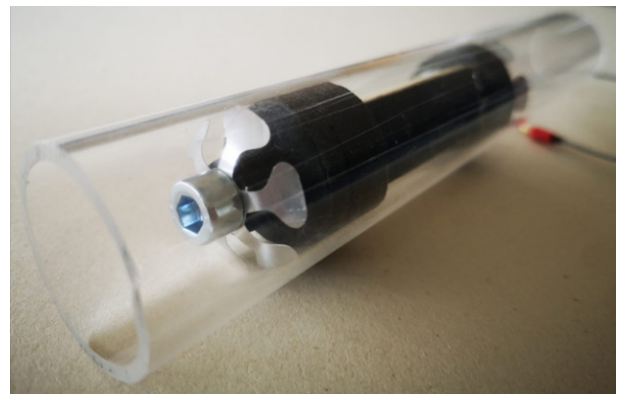


Abb. 3: Finale funktionierende Version mit Federstahlblech am Aktuator



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Maurice Zingg
Dr. Peter Gruber
Institut IME, CC FMHM
Dr. Joel Schlienger
Produktentwicklung & Mechatronik**

Analyse und Simulation von Schwingungen bei Pumpturbinen

Ausgangslage

In einem zukünftigen Stromnetz, welches weg vom Atomstrom hin zu erneuerbaren Energien mit fluktuierender Stromproduktion geht, spielen Pumpspeicherkraftwerke eine immer wichtigere Rolle. Diese können bei Bedarf Energie speichern oder liefern. Aktuelle Pumpturbinen weisen in wichtigen Betriebspunkten jedoch instabiles Verhalten auf, welches zu Schwingungen im System führt und so eine Netz-synchronisation erschwert. Diese Instabilitäten führen zu einer Kennlinie mit der Form eines sogenannten S-Schlags (Abb. 1). Um Instabilitäten zu verhindern ist das Verständnis von Pumpturbinen, gerade bezüglich den auftretenden Schwingungen, zentral.

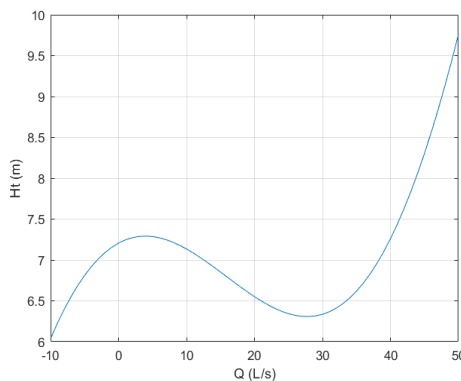


Abb. 1: H_t - Q -Kennlinie einer Pumpturbine mit instabilem Bereich bei negativer Steigung, dem sog. S-Schlag

Vorgehen

Mit einem physikalischen Modell von Pumpturbine, Ausgleichtanks und Wasserleitungen (Abb. 2) wird die Strömung im System und das Schwingverhalten analysiert.

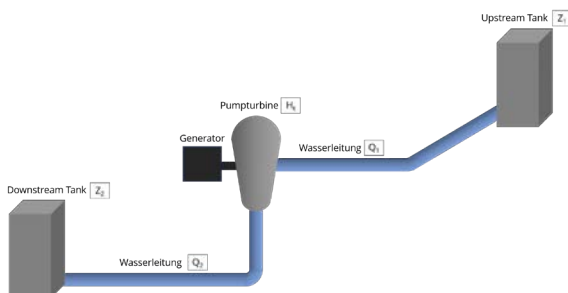


Abb. 2: Schematisches Modell des Systems mit Ausgleichtanks, Pumpturbine und Wasserleitungen, sowie den Größen Durchfluss (Q), Förderhöhe (H_t) und Wassersäule (Z)

Als Grundlage dienen die Gleichungen (1-4), welche die physikalischen Größen Durchfluss (Q), Förderhöhe (H_t), Wassersäule (H_r) mit Höhe (Z) und Reibungsverlust (H_f) darstellen (Abb. 3). Die Schwingungs-Simulation wird mit Matlab/Simulink durchgeführt.

$$L A_p \rho \frac{dQ/A_p}{dt} = (H_r - H_f - H_t) g A_p \rho \quad [\text{N}] \quad (1)$$

$$\frac{dZ_s}{dt} = (Q_0 - Q)/A_s \quad [\text{m/s}] \quad (2)$$

$$H_f = \frac{Q^2}{2gA^2} \left(\lambda \frac{L}{D} + \zeta \right) \quad [\text{m}] \quad (3)$$

$$H_t = f(Q) \quad (4)$$

Abb. 3: Die zur physikalischen Beschreibung des Systems verwendeten Gleichungen

Ergebnis

Die Ergebnisse der Schwingungs-Simulation konnten mit gemessenen Schwingungen am Pumpturbine-Prüfstand validiert werden und ergeben eine gute Übereinstimmung bezüglich Amplitude und Frequenz der Schwingungen.

Das Modell ist aufgeteilt in einen nichtlinearen Teil, gegeben durch die Kennlinie der Pumpturbine und in einen linearisierten Teil des restlichen Systems. Dieses linearisierte Teilsystem wird mittels Übertragungsfunktion auf ihre Polstellen und Nyquist-Ortskurve analysiert und weist für das Modell ein stabiles Verhalten auf. Es konnte also gezeigt werden, dass die auftretende Dauerschwingung im System von der nichtlinearen Kennlinie der Pumpturbine herkommen. Weiter wurde untersucht, wie sich verschiedene Parameter, wie z.B. Rohrdurchmesser oder Widerstandsbeiwert, auf das Schwingverhalten auswirken.

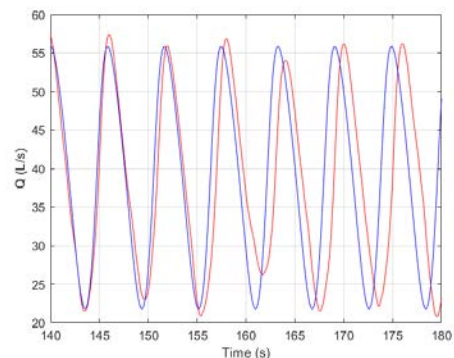


Abb. 4: Durchfluss Q im eingeschwungenen Zustand vom Labor-Prüfstand (rot) und der Simulation (blau)



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Maximilian Zosso
Dipl. Ing. FH Joshua Lanter
Curaden AG
Dipl. Ing. ETH Thomas Knodel
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung eines Untergestelles für einen Zahnarztstuhl

Ausgangslage

Die Curaden AG ist Partner für Dienstleistungen und Produkte für Zahnärzte und Zahntechniker. Sie hat es sich zum Ziel gesetzt, einen neuartigen Zahnarztstuhl zu entwickeln. Ein elegantes Design soll an einen Liegestuhl erinnern und dem Patienten ein entspanntes Gefühl vermittelt. Zu diesem Zweck wurde den Ansprüchen entsprechend eine Sitzfläche und Rückenlehne designed. Bei der Realisierung der notwendigen komplexen Kinematik für die gewünschte Bewegung der Liege gelang die Firma an die Hochschule Luzern. Gewünscht war eine Konstruktion, die es erlaubt, Rückenlehne und Sitzfläche in Winkel und Höhe in Abhängigkeit der zahnärztlichen Behandlung optimal einzustellen. Dies sollte mit lediglich zwei sichtbaren Trägern erreicht werden, welche die gesamte Liegefläche manipulieren.

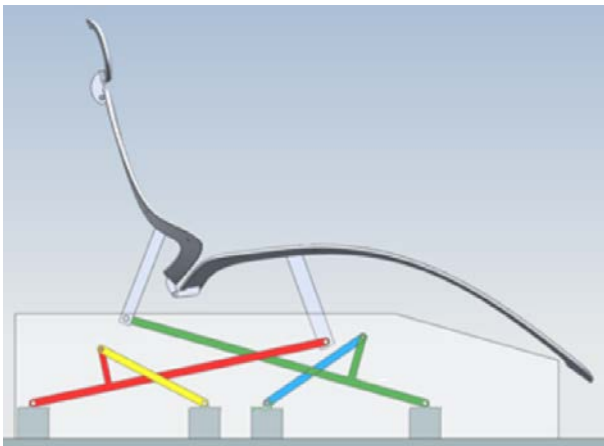


Abb. 1: Stuhl in der Einstiegsposition. Mit diesem Modell wurden die Simulationen durchgeführt

Vorgehen

Die gesamte Arbeit besteht aus einem Teil für die Elektrotechnik, welche sich mit Antrieben und Steuerung auseinandersetzt, und in der Konstruktion der Kinematik, welchen hier dargestellt wird.

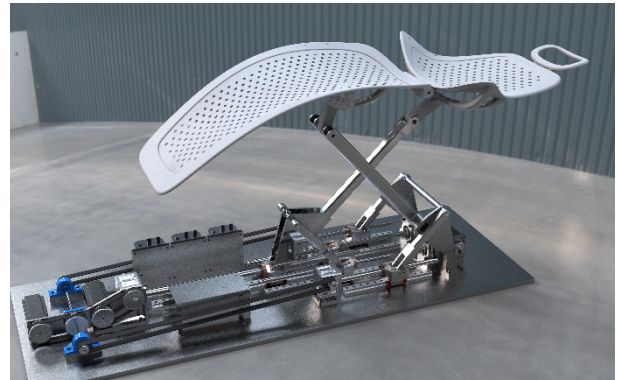


Abb. 2: Rendering der Konstruktion

Zuerst wurden die erforderliche Kinematik und die entsprechenden Stablängen und Lagerpunkte ermittelt, welche erforderlich sind, um die gewünschte Bewegungsvielfalt umzusetzen. Dazu wurden kinematischen Simulationen mit Siemens NX durchgeführt. Aus diesen Simulationen konnten die wirkenden Kräfte auf die einzelnen Bauteile bestimmt werden. Anschliessend ging es darum, geeignete Komponenten wie Spindeln und Linearführungen für die Konstruktion des Gestelles zu evaluieren und die benötigten Stäbe und Träger auszulegen.

Ergebnis

Das Ergebnis ist eine Konstruktion mit insgesamt sechs Stäben und Trägern. Fünf davon sind auf verschiebbaren Wagen gelagert und werden mittels Gewindespindeln bewegt. Die beiden Träger, die mit Rückenlehne bzw. Sitzfläche verbunden sind, werden durch je zwei Stäbe auf ungefähr einem Viertel ihrer Höhe gesteuert. Durch die beengten Platzverhältnisse und das Hebelgetriebe sind die wirkenden Kräfte teilweise sehr hoch, was eine relativ massive Konstruktion nach sich zieht. Alle erforderlichen Positionen können von der Mechanik angefahren werden und die Konstruktion kann nun mit einem Prototyp getestet werden.

