

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur

Bachelor- und Master-Theses 2022

Institut für Maschinen- und Energietechnik



Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser.

Die Corona-Pandemie beeinflusst seit ihrem Auftreten unseren Alltag in allen Lebensbereichen. Es freut mich deshalb umso mehr, Ihnen in dieser Broschüre die Kurzfassungen der Bachelor- und Master-Theses 2022 des Studiengangs Maschinentechnik präsentieren zu dürfen. Diese konnten allen Widrigkeiten zum Trotz durch die Studierenden, Dozierenden, Experten und Industriepartner mit viel Engagement, Kreativität und Toleranz erfolgreich durchgeführt und verfasst werden.

Unsere Studentinnen und Studenten haben ein anspruchsvolles und intensives Studium erfolgreich absolviert. In dessen Verlauf haben sie ihre Fach-, Methoden- und Sozial-Kompetenzen und vor allem ihre Persönlichkeit weiterentwickelt. Für ihre intellektuellen Leistungen und ihren Durchhaltewillen verdienen sie grossen Respekt und hohe 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. Sie sind in der Lage, erfolgreiche Lösungen für komplexe Problemstellungen aus und für die Praxis, mit viel Fachkompetenz und Kreativität in guter Ingenieurmanier in der vorgegebenen Zeit zu erarbeiten.

Den Absolventinnen und Absolventen wünsche ich auch im Namen aller Dozentinnen und Dozenten 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 Tim	KI-basierte Reglerauslegung – Reinforcement Learning für dynamische Systeme	7
Bachmann Adrian	Neukonstruktion MRL 5000 Lastenaufzug	8
Bachmann Marcel	Entwicklung und Konstruktion einer vollintegrierten Förder- und Sortierstufe für die Reinigung von Flüssen	9
Balsiger Max	Kavitationsmessungen an einem NACA Profil mit verschiedenen Spaltöffnungen	10
Banz Luca André	Festlegung und Programmierung einer Ablaufsteuerung für eine hydraulisch gesteuerte Bandsägen-Schleifmaschine	11
Baumann Marius	Systemverhalten und Regelstrategie für einen Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte	12
Baumli Sam	Correlation of Finite Element Analysis to Vibrational Measurement Data	13
Beeler Jan	Ausgestaltung und experimentelle Überprüfung eines seriennahen Fliehkraft-Abscheiders für Wäschetrockner	14
Bischof Reto	Untersuchung und Optimierung des Thermomanagement- und Wärmepumpen/Kälteanlagen-Systems von Elektro-Traktoren	15
Blunsi Jan	Optimierung der Druckverteilung im Keilbereich beim Heizpressvorgang der Skiherstellung	16
Borer Gregory	FIDECA Schweisslehre	17
Briker Adrian	Micro Surface Coating	18
Bui-Maurer Luca A.	Solar Butterfly – Ausarbeitung und Prototyp	19
Dillier Michael	Entwicklung der Roboterarme für einen Industrieroboter	20
Duss Andrin	Negativ-Emissionen: CO ₂ - Abscheidung in einem Holzheizkraftwerk	21
Eberli Lucas	Entwicklung einer Roll-to-Roll Anlage für die Produktion von Graphen-Membranen	22
Elefante Lorenzo D.	Visionäre bionische Leichtbaukonzepte für modulare Tragstrukturen der ExyCell Bioproduktionsanlage	23
Hegglin Roger	Entwicklung eines modular aufgebauten Schraubsystems mit Messkurvenaufzeichnung	24
Herzog Tobias	Entwicklung eines Getreideklassier Modelles	25
Heuberger Mattia Ch.	Low-cost Random Positioning Machine, Validierung	26
Jaun André	Mahlgutdosierung für Kaffeevollautomaten	27
Kljajic Mateo	Entwicklung einer Druckkammer für Computertomographie	28

Diplomand	Thema	Seite
Krummenacher Moritz	Sorptions-Wärmespeicher - Evaluation stationärer Betriebspunkte	29
Krummenacher Marcel	Entwicklung eines Drehmomentenschlages und Überarbeitung des Schliessventils eines Hydranten-Unterteils	30
Laupper Daniel	Feuchtebarriere für die automatische Spülmitteldosierung in Geschirrspülern	31
Lipp Michael	Dynamische FEM Analysen von Stirnradgetrieben eines Stellantriebs	32
Lussy Simon	Innovatives Downdraft-Konzept für ein Kochfeld	33
Mangold Samuel	Entwicklung eines optimierten Materialdruckreglers	34
Müller Ken	Herstellung und erste Testversuche eines neuen Konzeptes des Reha-Aquabikes	35
Nietlispach Ivo	Konzeptvorschlag für Beleuchtung und elektrischen Volant Antrieb einer Markise	36
Rieble Joel	Schnellkupplung Feindrahtlitze	37
Roth Dominik	FEM Simulation neuer Eckverbinder für Elektroschränke	38
Schmid Lukas	Narida AG: Energie-Optimierung mittels Pinch-Analyse	39
Schmid Thomas	Einfahrbare Launch Lugs für Forschungsraketen	40
Schmidiger Jerome	Identifikation der wesentlichen Diffuser-Design-Parameter und deren Einfluss auf das Betriebsverhalten eines Radialverdichters	41
Schuler Mathias	Minderung akustischer und struktureller Schwingungen in Haushaltsgeräten mittels vibroakustischer Metamaterialien	42
Stähli Lukas Helmut	Space Qualification of an Automated Coating Process for Optical Black Bodies	43
Tenisch Samuel	Entwicklung eines Filterrads für den Mondroboter GLIMPSE	44
Theiler Manuel	PV-Wärmeinseleffekt im urbanen Raum	45
Thyen Victoria	Präzise Saatgutablage mit einem Industrieroboter	46
Von Burg Dominic	Nichtlineare Finite-Elemente-Analyse zur Vorformung von Z-Drähten	47
Wandeler Jan	Redesign eines kostengünstigen und mobilen Mini-Mikroskops	48
Zuber Benjamin	Konzepterarbeitung einer Kühlschmiermittelaufbereitungsanlage	49

Inhaltsverzeichnis

Diplomand	Thema	Seite
Master-Theses		50
Aeschlimann Lukas F.	System Engineering of an Explorative Mammalian Cell Cube (EMC2) for Space Applications	51
Blättler Roman	Open-source application for design, simulation and analysis of multi-component gas adsorption processes in fixed bed columns	52
Grossmann Marco	Validierung der Echtzeitfähigkeit von ROS 2 in der mobilen Robotik	53
Lacher Markus	Prädiktive Regelung eines Gebäudeenergiesystems	54
Ribeiro Holanda Daniel	Performance Margin Estimation based on Motion Primitives for an Agricultural Robot	55
Rüd Mario	Feasibility Study on Advanced Automation and Robotics for Space Mechanism Small Series Production	56
Schmid Angelika	Konzipierung und Bewertung eines CO ₂ -armen Betriebs von Turboladerprüfständen	57
Tamburini Reto	Theoretical and Experimental Evaluation of Maximum CO ₂ Sequestration Productivity of Microalgae in Photobioreactors with subsequent Reactor Design for Carbon Dioxide Removal	58



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Arnold Tim
Prof. Dr. Müller Ulf Christian
Institut IME, CC FNUM
Dr. Schlienger Joel
Energien, Fluide und Prozesse

KI-basierte Reglerauslegung – Reinforcement Learning für dynamische Systeme

Ausgangslage

Dynamische Systemmodelle können sehr vielfältig eingesetzt werden, wobei sich ein zunehmend wichtiges Einsatzgebiet in der Reglerauslegung findet. Parallel dazu entwickelt sich der Bereich der künstlichen Intelligenz stark weiter und wird in immer mehr Anwendungsbereichen verwendet. Reinforcement Learning eignet sich als Teilgebiet der künstlichen Intelligenz hervorragend zur Regelung von Systemen, da es selbstständig von einem System das optimale Regelverhalten erlernen und dieses anwenden kann. Mithilfe von Systemmodellen kann der Lernprozess rein digital und ohne einen Versuchsaufbau erfolgen. Damit bringt die Kopplung dieser beiden Themengebiete ein grosses Potenzial mit sich.

Ziel dieser Arbeit war es, erste Erfahrungen mit Reinforcement Learning und der Kopplung mit Modelica Systemmodellen zu machen.

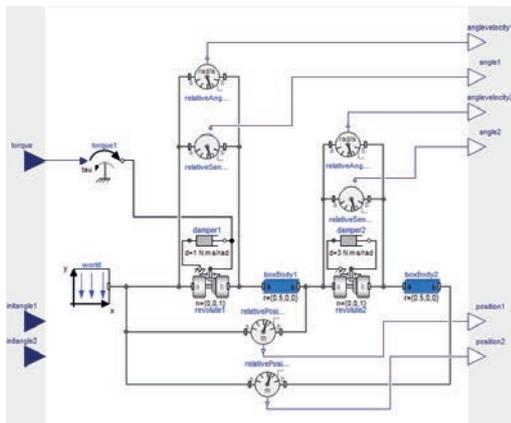


Abb. 1: Modelica Modell des doppelten Pendels, welches für die Kopplung mit Reinforcement Learning erstellt wurde

Vorgehen

Nach einer Recherche zum Thema Reinforcement Learning konnte ein Überblick der Möglichkeiten und Tools geschaffen werden. Dabei wurden verschiedene kleinere Versuche gemacht und das nötige theoretische Grundwissen angeeignet. Daraufhin wurde ein Showcase definiert, wobei ein nach unten gerichtetes Pendel nach oben geschwungen und balanciert werden soll. Dafür wurde ein Modelica Modell aus der Modelica Standard Bibliothek für die Anwendung mit Reinforcement Learning verändert. Das Systemmodell konnte mithilfe von verschiedenen Bibliotheken in ein Python Programm implementiert werden, damit ein Reinforcement Learning Agent die gewünschte Regelung selbstständig durch Parametrisierung eines neuronalen Netzwerkes erlernen kann. Systematische Ex-

perimente wurden durchgeführt und die gewonnenen Erkenntnisse dokumentiert.

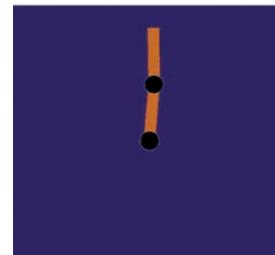


Abb. 2: Visualisierung des Systemzustandes in der eingeregelter Position

Ergebnis

Während der Arbeit wurde erfolgreich Reinforcement Learning mit einem dynamischen Modelica Systemmodell gekoppelt. Dabei wurde nach einigen Versuchen und Anpassungen schlussendlich das gewünschte Reglerverhalten im Showcase erreicht. Es wurde eine Dokumentation erstellt, welche den Einstieg für weitere Arbeiten in diesem Themengebiet erleichtern und eine Grundlage bereitstellen soll. Zudem konnte ein Überblick über die Möglichkeiten und verfügbaren Tools geschaffen werden.

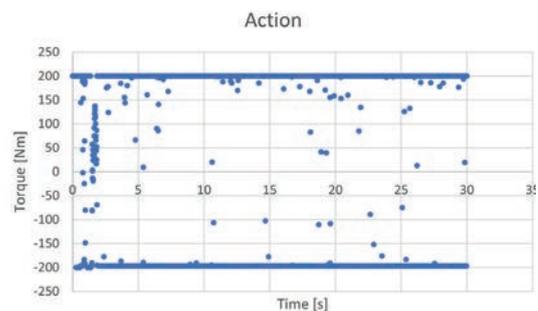


Abb. 3: Reglerverhalten nach dem Erlernen des neuronalen Netzwerkes. (Drehmoment in jedem Zeitschritt)

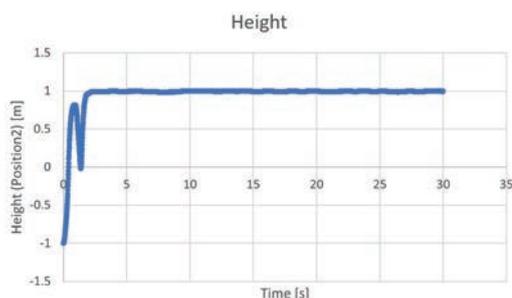


Abb. 4: Verlauf der geregelten Zustandsvariable. (Höhe der äussersten Stange)



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Bachmann Adrian
Dipl. Ing. FH Kirchhofer Pierre
Haslimann Aufzüge AG
B. Sc. ME Janssen Stephanie
Produktentwicklung & Mechatronik**

Neukonstruktion MRL 5000 Lastenaufzug

Ausgangslage

Die Haslimann Aufzüge AG wird als Familienbetrieb in dritter Generation geführt und produziert ungefähr 160 Aufzugsanlagen pro Jahr. Die Spannweite der Anlagentypen geht dabei von Kleinwaren- über Personen- bis zu grossen Waren- und Autoaufzügen. Die von Haslimann erstellten Aufzugsanlagen werden entweder mittels Ölhydraulik oder mit Elektromotoren angetrieben. Das Ziel der Bachelorthesis war die Erstellung einer Konstruktionsvorlage eines elektromechanischen und maschinenraumlosen (MRL) Lastenaufzuges mit einer Nutzlast von 5'000 kg, welche das Produktportfolio des Auftraggebers erweitern und die Stellung am Markt stärken soll.

Vorgehen

Über die Anforderungsliste wurden die Mindest- und Wunschanforderungen erfasst. Nach der Analyse der Ist-Situation wurden vier Konzeptvarianten erstellt, welche der hydraulischen Referenzlösung bezüglich der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeit gegenübergestellt wurden. Mithilfe der grafischen Darstellung der technischen Wertigkeit in Abb. 1 konnten die Varianten auf Schwachstellen untersucht werden.

Im Rahmen der Entscheidungssitzung entschied sich der Auftraggeber für ein Weiterverfolgen der Konzeptvariante drei.

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Hydr.
Funktionalität	Red	Orange	Yellow	Green	Blue
Innovation	Red	Orange	Yellow	Green	Blue
Einfachheit	Red	Orange	Yellow	Green	Blue
Anpassbarkeit	Red	Orange	Yellow	Green	Blue
Herstellbarkeit	Red	Orange	Yellow	Green	Blue
Handling	Red	Orange	Yellow	Green	Blue
Transport	Red	Orange	Yellow	Green	Blue
Montierbarkeit	Red	Orange	Yellow	Green	Blue
Wartung/Service	Red	Orange	Yellow	Green	Blue

Abb. 1: Schwachstellenanalyse der Konzeptvarianten

Ergebnis

Bei der Ausarbeitung der gewählten Variante stand neben der Modellierung mittels 3D Konstruktionssoftware, die Berechnung und Auslegung der Einzelkomponenten im Fokus. Durch den in Abb. 2 dargestellten iterativen Konstruktionsprozess, konnten die Anforderungen bezüglich der Einbaumassee, der erlaubten maximalen Werkstoffbelastungen, sowie der maximal zulässigen Verschiebungen eingehalten werden.

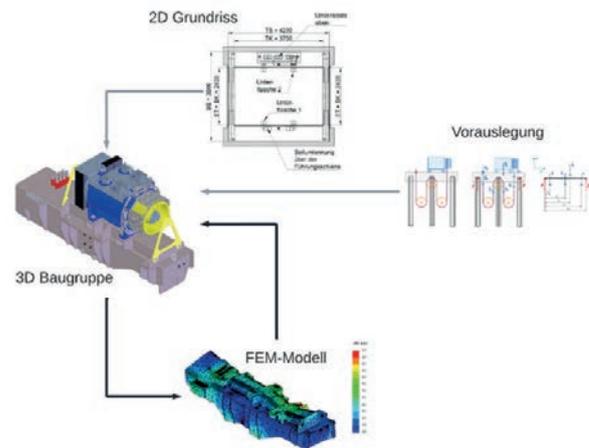


Abb. 2: Konstruktionsprozess Antriebsbaugruppe

Neben dem Wegfallen des Maschinenraumes ist die höhere Fahrgeschwindigkeit des MRL 5000 Aufzuges gegenüber der hydraulischen Lösung ein wesentlicher Vorteil für den Kunden. Durch die höhere Förderleistung der Aufzugsanlage wird die Produktivität und Effizienz des gesamten Gebäudes gesteigert.

Als weiteres Verkaufsargument lässt sich aus Abb. 3 ablesen, dass die Energiekosten beim MRL 5000 Aufzug bereits bei mehr als zehn Fahrten pro Tag wesentlich geringer sind, als bei einer vergleichbaren hydraulischen Aufzugsanlage.

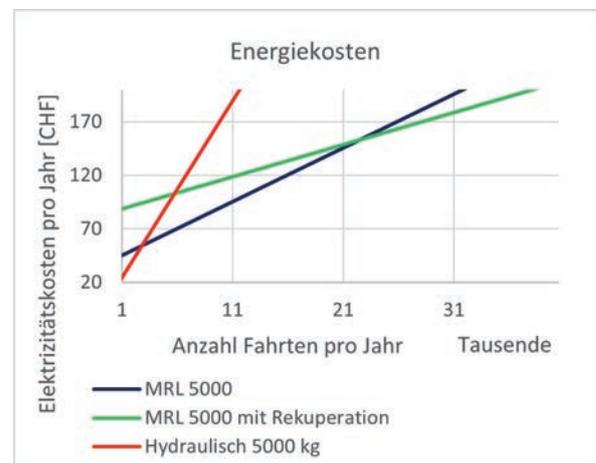


Abb. 3: Jährliche Energiekosten der Aufzugstypen



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Bachmann Marcel
Prof. Dr. Kamps Rolf
ETH Zürich, ARC-Project
Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung und Konstruktion einer vollintegrierten Förder- und Sortierstufe für die Reinigung von Flüssen

Ausgangslage

Plastikverschmutzung ist heute weltweit eine der grössten Herausforderungen und sie nimmt jedes Jahr zu. 5 Millionen Tonnen Plastikmüll gelangen Jahr für Jahr ausschliesslich über Flüsse in die Weltmeere. Um dieses Problem anzugehen, hat das RSL (Robotic System Lab) im Jahr 2019 das Projekt «Autonomous River Cleanup» (ARC) gestartet. Das ARC-Projekt ist eine von Studenten der ETH Zürich geleitete Initiative zur Reinigung von Flüssen im internationalen Umfeld. Bis heute wurden mehr als 30 Forschungsarbeiten zu dieser spannenden Herausforderung durchgeführt. Das Proof-of-Concept-Boot, (Abb. 1) das im Sommer 2021 auf der Limmat im Herzen von Zürich zum Einsatz kam, zeigte vielversprechende Ergebnisse für die Reinigungsfähigkeiten des ARC-Projekts.



Abb. 1: Proof-of-Concept-Boot, das zum automatisierten Aussortieren von anorganischem Material auf der Limmat zum Einsatz kam

Als nächster Meilenstein im Projekt soll nun die gesamte Förder- und Sortieranlage anhand der mit dem Proof-of-Concept-Boot gewonnenen Erkenntnissen optimiert und in einen ISO 20-Fuss Container integriert werden, damit die Anlage mobil und energieautark auf Booten oder an Land eingesetzt werden kann. Dabei soll die Anlage so ausgelegt werden, dass sie den Belastungen im Betrieb sowie beim Transport standhält. Zusätzlich zur Konzeptionierung und Entwicklung der Anlage soll ein erster Prototyp aufgebaut werden, der im 3. Quartal 2022 an der Limmat zum Einsatz kommen soll.

Vorgehen

Nach dem Erstellen einer Anforderungsliste wurde ein erstes Konzept erstellt, das stufenweise angepasst, verbessert und

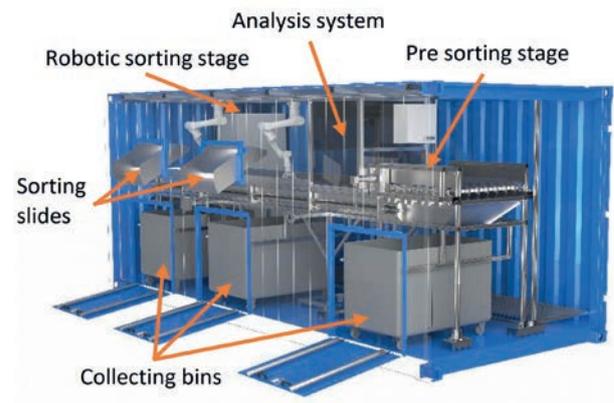


Abb. 2: Erstellte Konstruktion des Prototyps

erweitert wurde. Aus dem finalen Konzept entstand schlussendlich die Konstruktion, (Abb. 2) von der im Rahmen der Arbeit der Umbau des verwendeten ISO-Containers auch direkt umgesetzt wurde.

Des Weiteren wurden die tragenden Bauteile auf die auftretenden Belastungen ausgelegt und wo notwendig mithilfe der FEM-Analyse untersucht.

Ergebnis

Die Anlage im Container ist in modularer und erweiterbarer Weise aufgebaut. Das eingebrachte Sortiergut kann in bis zu vier verschiedene Materialklassierungen, plus die Vorsortierung, sortiert werden. Das organische Material durchläuft den Container und kann an dessen Ende aufgefangen werden. Der umgebaute und angepasste Container (Abb. 3) funktioniert wie gewünscht und steht für den Einbau der Förder- und Sortierstufe bereit.



Abb. 3: Umgebauter ISO 20-Fuss Lagercontainer



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Balsiger Max
Dr. Deniz Sabri
Institut IME, CC FNUM
Dr. Schlienger Joel
Energien, Fluide und Prozesse**

Kavitationsmessungen an einem NACA Profil mit verschiedenen Spaltöffnungen

Ausgangslage

Im Rahmen dieses Projektes wurden Kavitationsmessungen an einem NACA 0012 Hydrofoil durchgeführt. Insgesamt wurden 45 verschiedene Messpunkte evaluiert. Es wurde der Anstellwinkel α , die Kavitationszahl σ (Druckniveau) und die Spaltbreite s variiert. Die Spaltbreite s ist die Distanz zwischen dem Hydrofoil und dem Plexikanal, in welchem dieses montiert ist.



Abb. 1: Strömungsrichtung von links nach rechts, NACA 0012 im Kanal mit sichtbarer Superkavitation und Spaltkavitation, $\alpha = 6^\circ$, $\sigma = 0.55$, $s = 1.0$ mm

Vorgehen

Alle Messungen wurden am Pumpenprüfstand im Fluidlabor der HSLU – CC FMNM durchgeführt. Mittels den Druckmessbohrungen, welche in Abb. 1 zu sehen sind, wurden die notwendigen Druckmessungen durchgeführt. Mit

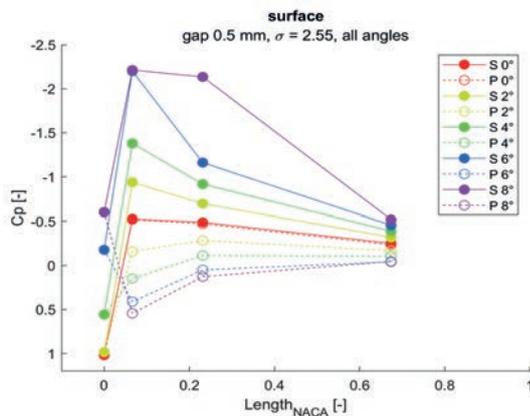


Abb. 2: Cp-Diagramm über alle α mit $\sigma = 2.55$ und $s = 0.5$ mm und S – Saugseite, P – Druckseite

den Druckmessdaten konnten Cp-Diagramme erstellt werden (siehe Abb. 2). Da das Hydrofoil bei gewissen Zustandspunkten zu kavitieren beginnt, wurden bei diesen Zustandspunkten zusätzlich noch Hochgeschwindigkeitsaufnahmen aus verschiedenen Ansichten getätigt. Diese dienten dazu, die Kavitation noch genauer untersuchen zu können und qualitative Aussagen darüber machen zu können.

Ergebnis

Anhand der gemessenen Daten und des aufgenommenen Videomaterials sind verschiedene Erkenntnisse gewonnen worden. Einerseits wurde erkannt, dass die Variation der Spaltbreite s keinen wirklichen Einfluss auf die Kavitation auf der Oberfläche des Hydrofoils hat. Zu erwarten ist jedoch, dass bei weiterem Erhöhen von s eine Veränderung in der Oberflächenkavitation zu sehen wäre. Die Variation von s hat jedoch einen klar sichtbaren Einfluss auf die Kavitation in der Spalte. Bei kleinem s ist keine Spaltkavitation zu erkennen. Wird s erhöht, wird Spaltkavitation und Wirbelkavitation sichtbar.



Abb. 3: Strömungsrichtung von links nach rechts, Bild aus Hochgeschwindigkeitsvideo mit Wirbelkavitation an der Ober- und Spaltkavitation an der Unterkante, $\alpha = 4^\circ$, $\sigma = 1.55$, $s = 1.0$ mm



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Banz Luca André
Prof. Dr. Koller Adrian
Iseli + Co. AG
Dipl. Ing. ETH Schüngel Paul Joachim
Produktentwicklung & Mechatronik**

Festlegung und Programmierung einer Ablaufsteuerung für eine hydraulisch gesteuerte Bandsägen-Schleifmaschine

Ausgangslage

Die Firma Iseli + Co. AG ist welt- und technologiemarktführend im Bereich der Bearbeitung von holzbearbeitenden Bandsägen. Zum Flankenschleifen solcher Bandsägen bietet die Firma Iseli eine hydraulisch gesteuerte Schleifmaschine BAF100 an. Die bis anhin eingesetzten Steuerungskomponenten werden fortlaufend durch den Hersteller abgekündigt, weshalb eine alternative Steuerung entworfen und programmiert werden soll.

Vorgehen

Zur Evaluierung geeigneter Steuerungskomponenten ist in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner eine Anforderungsliste erarbeitet worden. Das Produktportfolio der Steuerungsanbieter konnte damit auf eine kleine Anzahl reduziert werden. Mithilfe eines systematischen Auswahlverfahrens konnte anschliessend eine Hardware-Konfiguration festgelegt werden. Zur Kommunikation unter den Komponenten mussten anschliessend geeignete Schnittstellen und Bussysteme definiert werden.

Die Logik der Steuerung ist vor der Programmierung grafisch als Ablaufdiagramm entworfen worden, um diese mit geringem Aufwand in der Entwicklungsumgebung der gewählten Steuerung implementieren zu können. Das Kernstück der Logik bildet eine Zustandsmaschine, anhand deren aktuellem Zustand die Funktionen der Maschine ausgeführt werden.

Parallel zum Entwurf der Logik ist auch das HMI (Human Machine Interface) in Form einer Visualisierung grafisch geplant und festgehalten worden. Der Steuerschrank, an welchem auch das Panel der Steuerung angebracht ist, verfügt

über Hardware-Knöpfe, mit denen ebenfalls Eingaben in die Steuerung gemacht und damit das HMI erweitert werden kann.

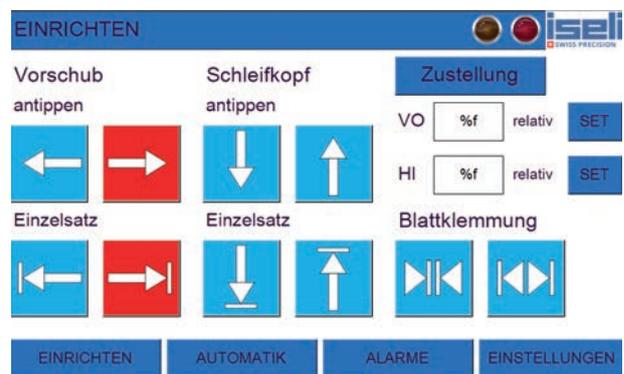


Abb. 2: HMI zum Einrichten der Maschine

Ergebnis

Als SPS wird ein emVIEW-7/RPI3+ Modul der Firma Janz-Tec eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen Panel-PC basierend auf dem Raspberry Pi 3+ Modul. Kombiniert mit einem 7" Panel mit einer Auflösung von 800x480 stellte sich das Modell als die geeignetste Steuerung für die Maschine heraus. Zur Erweiterung der Ein- und Ausgänge der Steuerung wird ein Buskoppler der Firma Weidmüller eingesetzt, der durch die Erweiterung unterschiedlicher Ein- und Ausgangsmodule insgesamt 24 digitale Ein- und Ausgänge, sowie 4 analoge Eingänge zur Verfügung stellt. Der Buskoppler kommuniziert über das EtherCAT-Bussystem mit der SPS und dem u-remote Systembus mit den Weidmüller Modulen. Die Abb. 1 zeigt die evaluierten Steuerungskomponenten und ihre Rolle im zugehörigen Bussystem.

Gemäss dem vorhergehenden Entwurf konnte die Logik der Steuerung in CODESYS programmiert und auf die Steuerung geladen werden. Die Umsetzung des HMI ist ebenfalls in CODESYS mit dem Aufbau von geeigneten Visualisierungsfenstern ausgeführt worden, wie die Abb. 2 zeigt. Zum Abschluss der Arbeit konnte die entworfene Steuerung beim Industriepartner aufgebaut und an einer internen Vorführmaschine in Betrieb genommen werden. Allfällig festgestellte Fehler in der Programmierung oder unterstützende Funktionen für den Bediener konnten damit festgestellt und in der Entwicklungsumgebung angepasst werden.

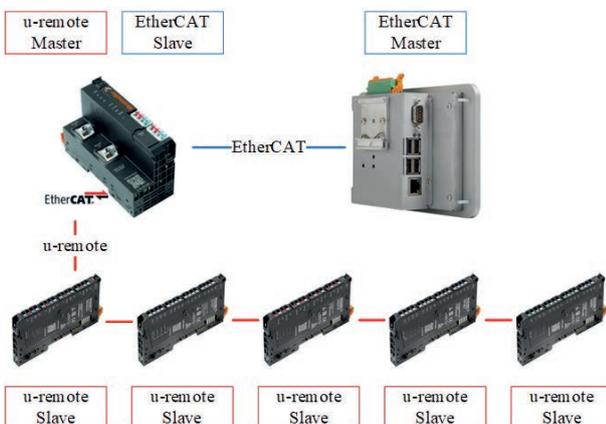


Abb. 1: Steuerungskomponenten und Bussysteme



**Diplomand
Dozent**

**Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Baumann Marius
Prof. Dr. Gruber Peter
Hämmerle Martin**

**Institut für Gebäudetechnik und Energie
Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Produktentwicklung & Mechatronik**

Systemverhalten und Regelstrategie für einen Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte

Ausgangslage

Der Prüfstand für Kompaktlüftungsgeräte wird vom Institut für Gebäudetechnik und Energie verwendet, um verschiedene Normen und Zulassungen zu prüfen. Geprüft werden dabei hauptsächlich Kompaktlüftungsgeräte mit Wärmetauscher, rekuperative und regenerative Wärmerückgewinnungsgeräte sowie auch Abluftwärmepumpen. Für die Prüfungen werden jeweils die Luftströme der Aussenluft und der Abluft konditioniert werden. Dazu werden sie durch Monoblöcke auf die gewünschten Temperaturen, Feuchtigkeiten, Volumenströmen und Drücke gebracht. Um diese Grössen während des Prüfvorgangs konstant zu halten, werden sie geregelt. Diese Regelung funktioniert derzeit ungenügend und soll überarbeitet werden.

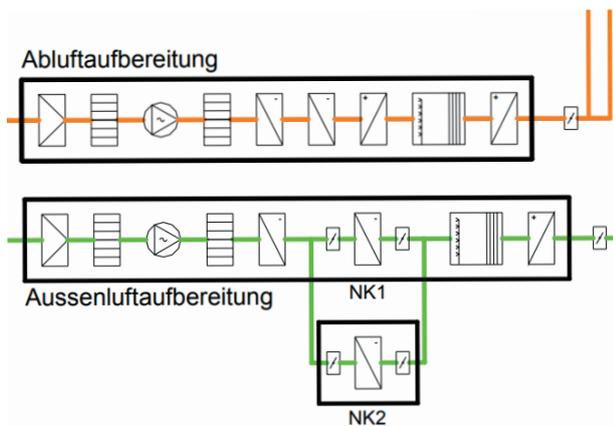


Abb. 1: Aufbau der Aufbereitung der Aussenluft und der Abluft

Vorgehen

Weil die Luftkonditionierung aus vielen verschiedenen Teilen besteht, wird bei dieser Arbeit darauf geachtet, dass zuerst einzelne Komponenten modelliert werden und diese dann mit weiteren ergänzt und verknüpft werden. Als Anfang wurde dabei der Vorkühler Aussenluft gewählt. Er besteht aus einem Kühlregister, das über eine Drosselschaltung mit dem Kältenetz des Labors verbunden ist. Das System wird in MATLAB-Simulink modelliert und durch Messungen an der Umweltsimulationskammer im Labor verifiziert. Um das System zu regeln wird ein PI-Regler mit zweidimensionalem Gain Scheduling verwendet, wobei die Parameter des PI-Reglers von Sollwert und Luftmassenstrom abhängen.

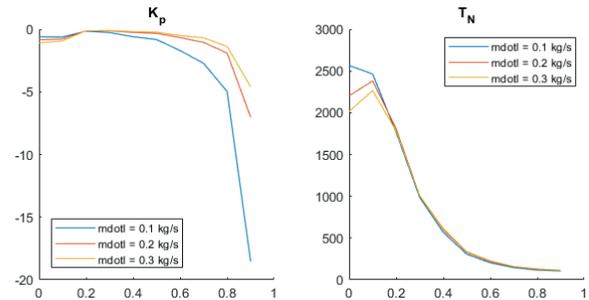


Abb. 2: Regelparameter in Abhängigkeit von Luftmassenstrom und Ventilöffnung

Ergebnis

In Simulationen konnte das Funktionieren des Reglers mit Gain Scheduling gezeigt werden. Weiter kann das erstellte Modell zusammen mit einem Skript, welches automatisch Regelparameter berechnet, weiterverwendet werden für die Simulation von weiteren Komponenten der Luftaufbereitung. Beim Testen des Reglers an der Umweltsimulationskammer musste jedoch festgestellt werden, dass das Verhalten des Reglers nicht vollständig mit den Simulationen übereinstimmt.

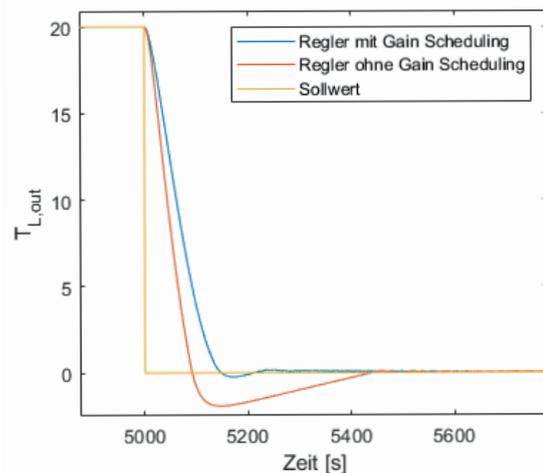


Abb. 3: Simulationsvergleich des Reglers mit Gain Scheduling gegenüber Regler ohne Gain Scheduling



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Baumli Sam
Prof. Dr. Székely Gerhard Stefan
Synopta GmbH
Dipl. Ing. ETH Knodel Thomas
Produktentwicklung & Mechatronik

Correlation of Finite Element Analysis to Vibrational Measurement Data

Introduction

Synopta GmbH offers development and production of opto-electronic instrumentation for space and industrial applications. The coarse pointing assembly (CPA) is a beam pointing and stabilization system used for laser communication in space and in optical ground stations.

Shaker vibration tests on the CPA70 prototype show clear deviation to computed results with the finite element method (FEM). For the sake of future simulation analyses, this bachelor thesis has the purpose of investigating the finite element (FE) model and used modeling techniques to achieve data correlation of the measurement data.

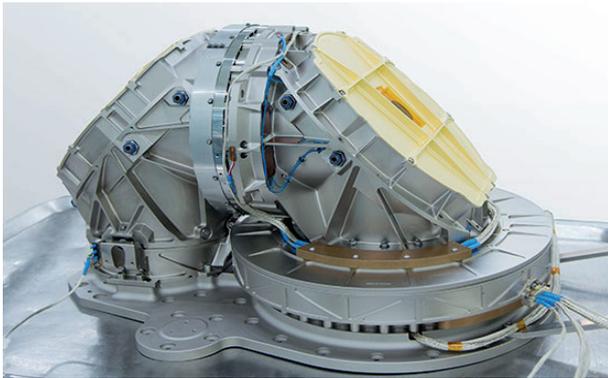


Fig. 1: CPA135 Prototype

Procedure

The passed-on FE model has been built in the Femap software, using Simcenter Nastran as solver. After repeated simulations, the results of the received FE model were verified. The research for deviation causes showed, that the omission of equivalent cross section calculations of the bolted connections led to discrepancies in the results. Furthermore, a new version of the base plate was not integrated, and old bearing stiffness parameters were used. The model was corrected accordingly, and thus led to a corrected finite element analysis (FEA) in Femap/ Nastran.

An independently built FE-model in Ansys serves as a comparison model. It contains 3D solid elements for the bolts and integrates the updated base plate. A study of different modeling techniques resulted in a bearing implementation by using the bushing joint. Figure 2 shows the first mode shape of the CPA70 assembly.

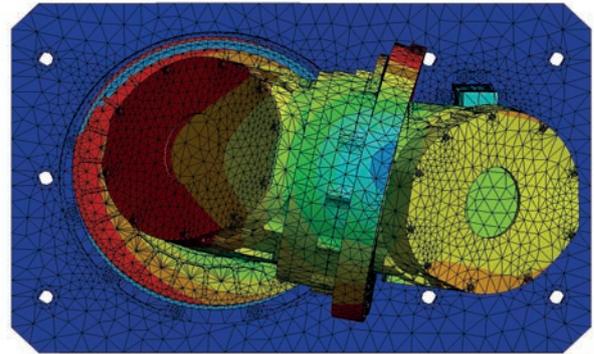


Fig. 2: Modal Analysis: 1. Mode of the CPA70

Results

The power spectral density (PSD) responses for three locations were evaluated. Correcting the bolted connections and bearings stiffnesses in Femap led to a significant improvement of data correlation, as seen in Figure 3. Likewise, a modal analysis and random vibration analysis in Ansys were performed. They provide satisfactory results in y-, and z-direction. In the x-direction, yet the corrected Femap model achieves better correlation.

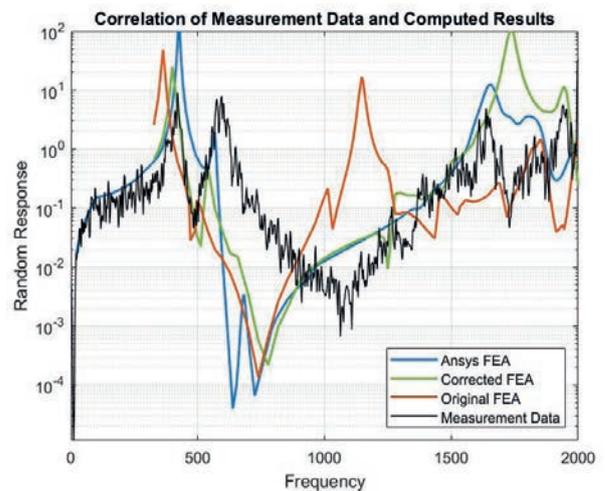


Fig. 3: Power Spectral Density (PSD) response of different finite element analyses, compared to the vibrational measurement data



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

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

Ausgestaltung und experimentelle Überprüfung eines seriennahen Fliehkraft-Abscheiders für Wäschetrockner

Ausgangslage

In einem Wäschetrockner wird die Luft prozessbedingt mit Flusen (Textilfasern) kontaminiert. Üblicherweise werden diese durch ein vom Kunden manuell zu reinigendes Siebgewebe abgeschieden (Abb. 1). Mit zunehmenden Verschmutzungsgrad sinkt der Prozessluft-Volumenstrom, was einen negativen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Trocknungsdauer hat.

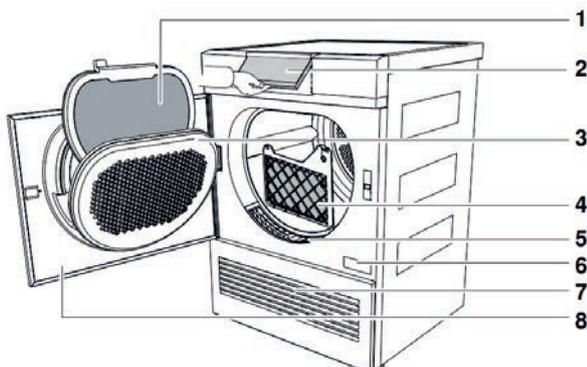


Abb. 1: Hauptbestandteile des heutigen Filtersystems: Türsieb mit Filtermatte (1) und Frontfilter (4)

Durch die Integration eines wartungsarmen Fliehkraft-Abscheiders, auch Zyklon genannt, könnte der Variabilität des Prozessluft-Volumenstroms entgegengewirkt und der Reinigungsaufwand für die Kunden deutlich reduziert werden. Dieser Bachelor-Thesis ist ein firmeninternes Vorprojekt vorangegangen, womit bereits eine Basisgeometrie vorhanden ist. Der daraus entstandene Gleichstrom-Zyklon soll nun dahingehend angepasst werden, dass das abgeschiedene Partikelmaterial bei einem reduzierten Druckverlust einfach entnommen werden kann.

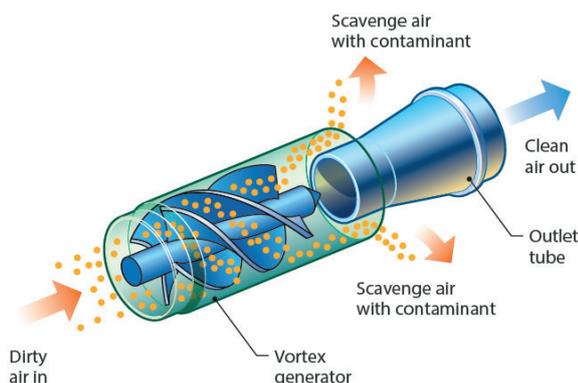


Abb. 2: Funktionsprinzip eines Gleichstrom-Zyklons

Vorgehen

Der bestehende Zyklon wird mit Hilfe von CFD-Simulationen (Computational-Fluid-Dynamics) untersucht, optimiert und um eine Abscheide-Geometrie erweitert. Der weiterentwickelte Zyklon wird anschliessend mittels 3D-Druck hergestellt und auf einem eigens für diese Arbeit konstruierten Prüfstand in verschiedenen Szenarien experimentell untersucht.

Ergebnis

Im Rahmen der CFD-Simulationen kann verglichen mit der Ausgangsgeometrie der Druckverlust um ca. 30 % reduziert werden (Abb. 3).

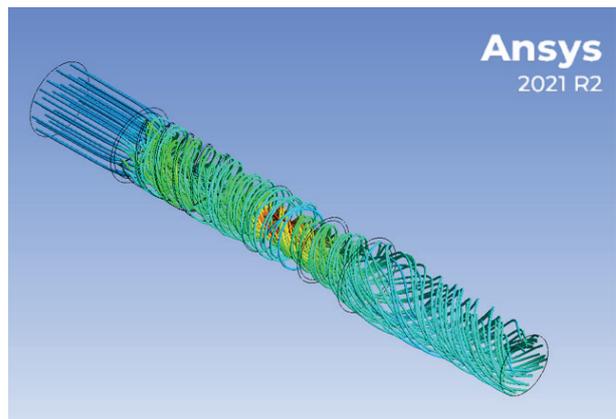


Abb. 3: Streamlines des optimierten Gleichstrom-Zyklons (ohne Abscheide-Geometrie)

Erste experimentelle Untersuchungen auf dem Prüfstand zeigen, dass unter Verwendung von Prüfstaub der Funktionsnachweis der Abscheide-Geometrie erbracht werden kann und sich die abgeschiedenen Partikel in einem einfach entnehmbaren Behälter ansammeln. Hingegen fällt das Abscheideverhalten bei realen Flusen gänzlich anders aus. Im Extremtest verstopft der Drallerzeuger (vortex generator) am Zyklon-Eintritt durch sich zunehmend ablagernde Flusenpartikel, was für eine erfolgreiche Integration in einen Wäschetrockner weitere Herausforderungen mit sich bringt.



Dipl. Ing. Lukas Gasser
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Bischof Reto
Prof. Dr. Wellig Beat
Rigitrac Traktorenbau AG
Dipl. Ing. FH Gasser Lukas
Energien, Fluide und Prozesse

Untersuchung und Optimierung des Thermomanagement- und Wärmepumpen/Kälteanlagen-Systems von Elektro-Traktoren

Ausgangslage

Die Rigitrac Traktorenbau AG entwickelt und produziert Traktoren mittlerer Leistung. Im Rahmen der innovativen Unternehmenskultur entwickeln die Firma einen vollelektrisch betriebenen Traktor. Mit dem SKE 40 ELECTRIC wurde bereits ein solcher Traktor ins Produktportfolio aufgenommen und nun soll dieser weiterentwickelt werden. Insbesondere beim Thermomanagement sollen weitere Optimierungen vorgenommen werden.

Mit dem Thermomanagement wird die zur Heizung und Kühlung aufgewendete Batteriekapazität unter Nutzung von systeminternen Wärmequellen- und -senken minimiert. Im bestehenden System wird dazu ein kombiniertes Wärmepumpen-/Kälteanlagen-Modul (WP/KA-Modul) eingesetzt.

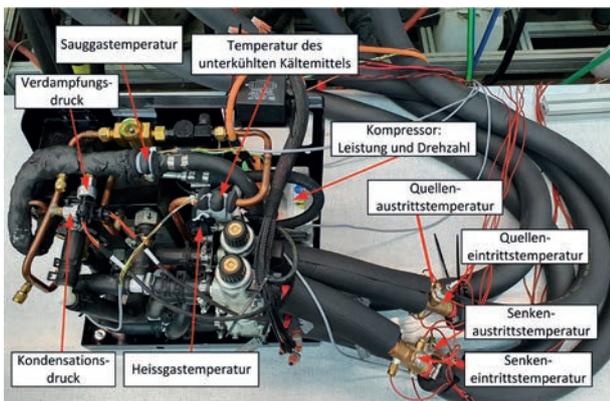


Abb. 1: Messaufbau zur Untersuchung des WP/KA-Moduls. Zur Generierung der Kühlmittelzustände der Quelle und der Senke wurde das Wärmemodul im Thermolabor der HSLU T&A verwendet

Vorgehen

Nach einer System- und Auftragsanalyse wurden stationäre Berechnungen in den vorgesehenen Betriebspunkten durchgeführt. Mit den Resultaten konnte das Betriebsfeld des Traktors und insbesondere des WP/KA-Moduls eingegrenzt werden. Darauf aufbauend wurde ein Messkonzept erstellt, welches ermöglichte, die Betriebspunkte auf einem Prüfstand nachzustellen und so die Betriebscharakteristik des Moduls zu messen (Abb. 1).

Parallel dazu wurde ein Konzeptreview durchgeführt, wobei mögliche Problemstellen ermittelt und dazu passende Lösungsvarianten erarbeitet wurden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurde ein Regelkonzept sowie eine Handlungsempfehlung zugunsten des Industriepartners erstellt.

Ergebnis

Aus den Messresultaten wurde ersichtlich, dass das Expansionsventil des WP/KA-Moduls in tiefen Leistungsbereichen an den Rand des Regelbereichs gerät und die nötige Sauggasüberhitzung nicht sicherstellen kann. Es wurde darauf ein Konzept erarbeitet, wie durch den Einsatz einer Blende der regelbare Bereich erweitert werden kann (Abb. 2). Das Regelkonzept schlägt ein optimiertes System vor und ermöglicht die Handhabung der Standardbetriebsfälle sowie der relevantesten Sonderfälle.

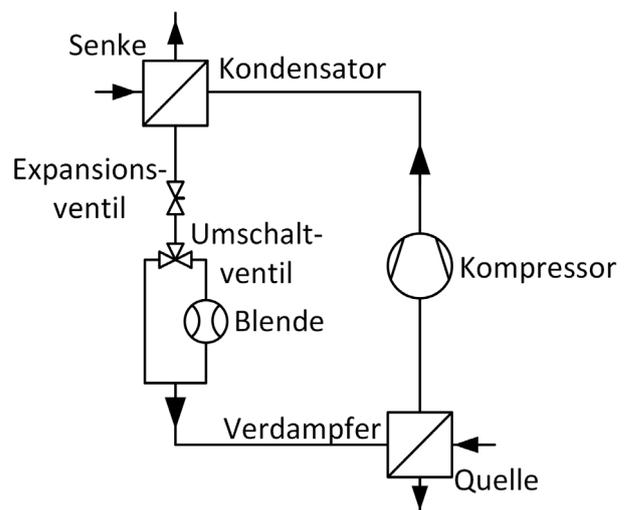


Abb. 2: Darstellung der Anpassung des Standard-Wärmepumpenkreislaufs mit einer Blende zur Erweiterung des Regelbereichs des Expansionsventils. Die Blende kann bei Bedarf einen zusätzlichen Druckabfall erzeugen



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Blunschli Jan
Prof. Dr. Lodewyks Johann
Stöckli Swiss Sports AG
Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Produktentwicklung & Mechatronik

Optimierung der Druckverteilung im Keilbereich beim Heizpressvorgang der Skierherstellung

Ausgangslage

Die Stöckli Swiss Sports AG stellt alle ihre Skier in der Sandwichbauweise her. Verschiedene mit Haftmittel vorimprägnierte Lagen werden dafür in einer Kassette aufgeschichtet, welche dann in ein beheiztes Pressbett gelegt wird. Ein moderner Ski verfügt im hinteren Bereich über eine Aufbiegung. Da das Pressbett in diesem Bereich flach ist, muss für die Abbildung der Geometrie ein Keil eingelegt werden. Mehrere Einflüsse führten bisher dazu, dass der Druck sehr ungleichmässig verteilt wurde. Daraus resultierten unsauber verbundene Lagen und somit Nacharbeit und Ausschuss.

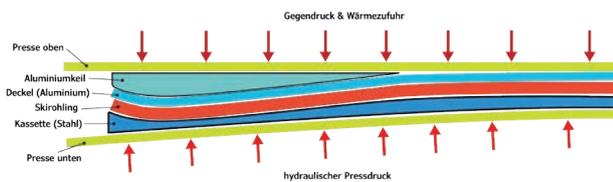


Abb. 1: Schematischer Aufbau des Keilbereichs beim Heizpressen

Vorgehen

Das Projekt wurde nach dem Double Diamond Prozess durchgeführt. Zu Beginn wurden Grundlagen gesammelt und ein Druckmesssystem entwickelt. Es besteht aus Druckmesssensoren sowie einer Druckmessfolie. Damit konnte



Abb. 2: Messsystem mit 3D-Druck Prototyp des Keiles in der geöffneten Presse

die IST-Situation mit verschiedenen Prototypen verglichen werden. Hierfür wurden Messungen im laufenden Produktionsprozess gemacht. Auf Basis der Messresultate dieser Versuche konnte ein FEM-Modell aufgebaut werden, mit welchem eine Parameterstudie durchgeführt wurde. Die Erkenntnisse daraus ermöglichten es, neuentwickelte Lösungskonzepte methodisch zu bewerten und daraus Massnahmen abzuleiten.

Ergebnis

Es konnte ein Massnahmenplan mit fünf Schritten definiert werden. Diese können laufend und ohne grossen Aufwand umgesetzt werden. Der ausgearbeitete Plan sieht unter anderem vor, dass der Deckel der Kassette dünner gestaltet und die Keilform optimiert wird. Ein abschliessender Vergleich mit dem FEM-Modell und auch die Resultate aus den Messungen zeigen, dass die Druckverteilung damit schrittweise stark optimiert wird. Als weiteres Ergebnis steht dem Projektpartner in Zukunft das Messsystem für die Überprüfung des Einflusses gemachter Anpassungen zur Verfügung.

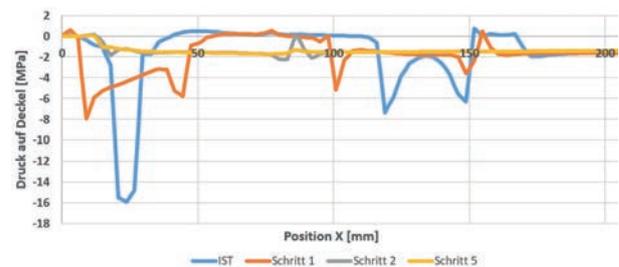


Abb. 3: FEM-Vergleich der Druckverteilung auf den Deckel nach Umsetzung der Massnahmen



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Borer Gregory
Dipl. Ing. FH Kirchhofer Pierre
Fischer Rista AG
B. Sc. ME Janssen Stephanie
Produktentwicklung & Mechatronik

FIDECA Schweisslehre

Ausgangslage

Die Fischer Rista AG ist Hersteller von diversen Produkten für das Baugewerbe. Unter anderem werden Schubkörbe produziert, welche als Durchstanzbewehrungen verwendet werden. Für die FIDECA Schubkörbe besteht bereits eine ca. 20 Jahre alte Schweisslehre, bei welcher jedoch alle Arbeitsschritte durch den/die Mitarbeiter/in ausgeführt werden. In einer vorgängigen Industriearbeit wurde das Potenzial der Verbesserung in der Schweisslehre erkannt, wobei dieses vor allem in der Höhenverstellung zwischen den verschiedenen Schubkörben besteht. Diese Höhenverstellung dauert im heutigen Prozess ca. 8 min pro Wechsel. Mit einer neuen Schweisslehre soll die Möglichkeit für eine optimierte Produktion entwickelt werden, damit weiterhin ein konkurrenzfähiges Produkt am Markt angeboten werden kann.

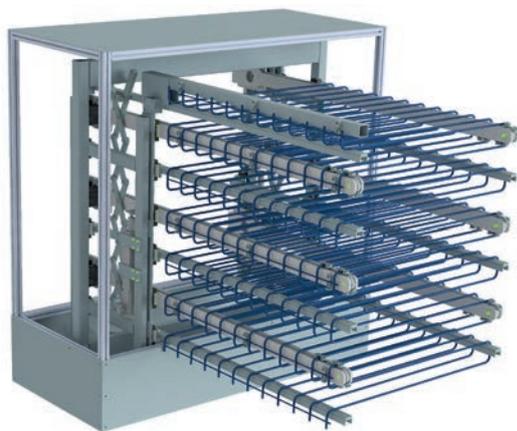


Abb. 1: FIDECA Schweisslehre mit grösstmöglichem Schubkorb (blau) eingesetzt

Vorgehen

Mit dem Input aus dem Konzept der Industriearbeit wurden drei neue Konzepte erstellt, welche eine grössere Varietät an Produkten auf der gleichen Schweisslehre ermöglichen. Die drei Konzepte wurden dem Industriepartner vorgeschlagen und mit Vor- und Nachteilen bewertet. Aus den Konzepten entschied man sich für jenes mit Kettenförderer, welches bereits eine Teilautomatisierung beinhaltet. Dieses Konzept wurde im CAD ausdetailliert. Für die kritischen Stellen wurde ein Berechnungsnachweis durchgeführt. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Schweisslehre mit einfachen Schritten künftig weiter automatisiert werden könnte. Ziel ist es, eine vollständige Automatisierung des Prozesses zu erreichen.

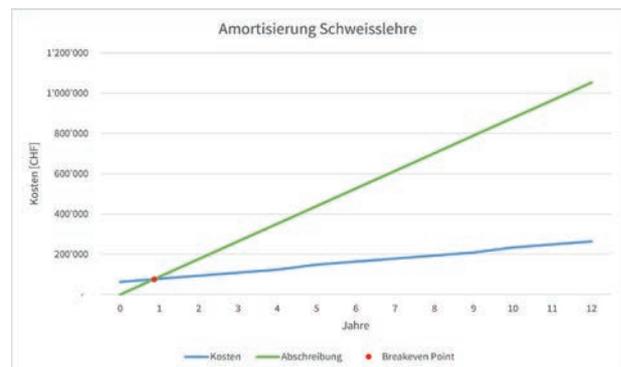


Abb. 2: Amortisierung der neuen Schweisslehre

Ergebnis

Die neue Schweisslehre (Abb. 1) besteht im Wesentlichen aus drei Kettenförderer, welche die Wellen in Positionen bringen. Die Ketten sind jeweils eine U-Bügelkette mit Führungsrollen, welche exzentrisch gelagert werden. Mit zusätzlichen Wellenführungen werden die Wellen abgestützt. Die Höhenverstellung zwischen den zwei verschiedenen Rastern der Schubkörbe wird über einen Scherenhub gelöst. Dieser streckt die Abstände gleichmässig über das gesamte Raster. Für die Höhenverstellung in der Höhe der Schubkörbe werden zwei Linearachsen verwendet, welche die rechte Hälfte aller Kettenförderer und Wellenführungen verschiebt. Auf dieser Schweisslehre können somit Schubkörbe mit Höhen von 120 mm bis 1000 mm in einer Rasterung von 100 mm bzw. 150 mm hergestellt werden.

Durch die neue Schweisslehre können die Schubkörbe ca. 3 bis 4 min schneller produziert werden. Das bedeutet, dass im Vergleich zu heute pro Tag ca. 20 Schubkörbe zusätzlich hergestellt werden können. Somit wird eine Effizienzsteigerung von ca. 24 % erreicht. Die Investitionskosten der neuen Schweisslehre belaufen sich auf ca. CHF 70'000.- mit jährlichen wiederkehrenden Kosten von ca. CHF 10'000.-. Mit der erwarteten Effizienzsteigerung und den anfallenden Kosten liegt der Breakeven Point bei etwa einem Jahr.



**Diplomanden
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Briker Adrian
Dipl. Ing. FH Lanter Joshua
Institut IME, CC Mechanische Systeme
Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Produktentwicklung & Mechatronik**

Micro Surface Coating

Ausgangslage

Die Hochschule Luzern, Technik & Architektur betreibt Grundlagenforschung zum Thema Beschichten. Handelsübliche Hartmetallschneiden werden mit kubisch Bornitrid (CBN) Kristallen beschichtet. Zu diesem Zweck steht ein Wasser-/ Sauerstoff Generator (Abb. 1) zur Verfügung. Diese Bachelor-Thesis dient als Grundlage die Prozessparameter reproduzierbar einstellen zu können.



Abb. 1: Wasser-/ Sauerstoffgenerator

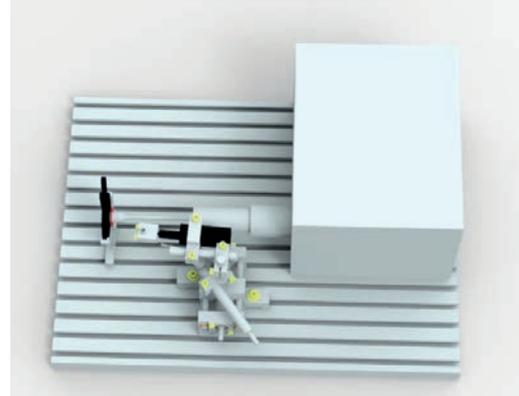


Abb. 2: CAD Funktionsmuster

Die Abb. 3 zeigt CBN Partikel (Korngrösse ca. $1 \mu\text{m}$) auf dem Radius einer Hauptschneide eines Wolfram Carbid Hartmetall Einsatzes.

Mit Hilfe der einstellbaren Parameter des Funktionsmusters werden Prozessparameter für homogene und haftende Beschichtungen optimiert.

Vorgehen

Basierend auf Anforderungen seitens Industriepartner ist ein Pflichtenheft erstellt worden. Unterschiedliche Konzepte für das Funktionsmuster sind systematisch erarbeitet. Das Lösungskonzept ist über eine Nutzwertanalyse ausgewählt. Das Lösungskonzept ist ausgearbeitet - mit Hilfe CAD (CAD-Modell Abb. 2) konstruiert, detailliert und als Funktionsmuster in Betrieb. Erste Erfahrungen mit dem Gerät zeigen eine erfolgreiche Umsetzung des Projektes.

Ergebnis

Das Funktionsmuster ist funktionstüchtig und erfüllt alle geforderten Anforderungen. Mit dem Gerät werden Beschichtungsversuche erfolgreich durchgeführt. Kubisch Bornitrid Partikel (CBN, Korngrösse 100 nm bis $20 \mu\text{m}$) werden auf unterschiedlichen Grundmaterialien beschichtet.

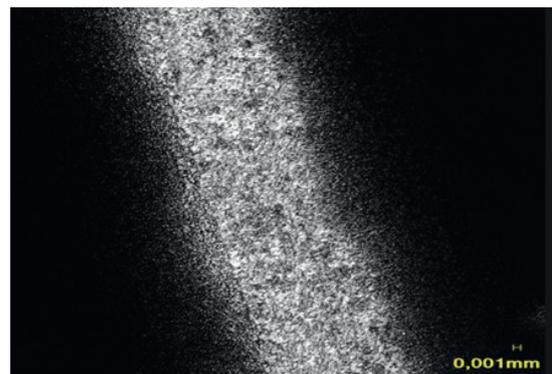


Abb. 3: Hauptschneide (Radius im μm Bereich) beschichtet mit CBN



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Bui-Maurer Luca A.
Dipl. Ing. FH Kirchhofer Pierre
Louis Palmer, Zero Race GmbH
Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Produktentwicklung & Mechatronik**

Solar Butterfly – Ausarbeitung und Prototyp

Ausgangslage

Das Projekt SolarButterfly hat zum Ziel, mit einem energieautonomen Wohnwagengespann die Weltreise des „SolarTaxis“ zu wiederholen. Dieses Wohnwagengespann umfasst das EV-Zugfahrzeug sowie den „SolarButterfly“ als Tiny House selbst. Vorab lieferten vier Arbeiten ein mechanisches Konzept, bestehend aus Antrieben, Aufbauten und ersten FEM-Analysen des gesamten Projekts.

Basierend auf diesen vier Arbeiten sowie auf den weitergeführten Konstruktionsarbeiten soll im Rahmen dieser Arbeit das gesamte Projekt beurteilt und mögliche Risiken detektiert werden. Des Weiteren sollen entsprechende Massnahmen definiert und eingeleitet werden, was notwendige Tests, Berechnungen, konstruktive Anpassungen und Weiteres beinhaltet.

Weiterhin sind Unterstützungsleistungen im Bereich der Fertigung und Montage zu erbringen.

Abschliessend soll in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner die Folgeplanung für 2022 erarbeitet werden, damit die geplante Abfahrt des „SolarButterfly“ am 23.05.2022 erreicht werden kann.

Notwendige Massnahmen aufgrund erkannter Risiken werden erarbeitet und in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner diskutiert. Die beschlossenen Massnahmen werden laufend verfolgt, um eine effiziente Umsetzung aufgrund des ambitionierten Zeitplans zu ermöglichen.

Für konstruktive und konzeptionelle Änderungen kommen verschiedene Kreativitäts- und Beurteilungsmethoden sowie Siemens NX zum Einsatz.



Abb. 2: Montage Küchenboden



Abb. 1: Rendering Solar Butterfly

Ergebnis

Aufgrund des Konzeptwechsels durch den Industriepartner vor dem Start dieser Arbeit erfolgte eine komplette Neukonstruktion des „SolarButterfly“ durch Zero Race GmbH. Dies ermöglichte zum einen die Implementation von neuen Erkenntnissen und Antriebskonzepten, führte aber zu Verzögerungen des Baufortschritts, welcher erst im Januar 2022 starten konnte. Dadurch wird eine Fertigstellung des „SolarButterfly“ auf den geplanten Termin schwierig zu erreichen.

Vorgehen

Für eine fortlaufende Beurteilung des Projekts „SolarButterfly“ erfolgt eine Sichtung aller bislang erarbeiteten Daten und Erkenntnisse. Ergänzt wird diese mit einem laufenden Austausch mit den am Projekt beteiligten Industriepartnern zu den spezifischen Risiken.



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Dillier Michael
Prof. Dr. Székely Gerhard Stefan
maxon international AG
Dipl. Ing. ETH Knodel Thomas
Produktentwicklung & Mechatronik**

Entwicklung der Roboterarme für einen Industrieroboter

Ausgangslage

Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wurde in der Zusammenarbeit mit der maxon international AG ein Knickarmroboter entwickelt. Dieser Roboter dient an Messen und Ausstellungen als Demonstrationsobjekt, um das neue von maxon entwickelte Robotergelenkmodul «Robo Joint 50», Kunden vorzustellen und direkt im Einsatz zu präsentieren. Der in Abb. 1 ersichtliche fertige Knickarmroboter besteht aus sechs Robo Joint 50 Gelenkmodulen und zwei verschiedenen Roboterarmen, welche über Schnittstellen miteinander verbunden sind. Ziel dieser Bachelor-Thesis war das Auslegen, Entwerfen und Konstruieren der Roboterarme sowie der verbindenden Schnittstellen an diesem Knickarmroboter.



Abb. 1: Knickarmroboter im montierten Zustand

Vorgehen

Für den Konstruktionsprozess der zu entwickelnden Roboterarme wurden mehrere Festigkeits- und Steifigkeitsberechnungen durchgeführt. Zusätzlich wurde mit Hilfe von ANSYS INC. in verschiedenen FEM-Analysen die maximalen Spannungen sowie die Gesamtverformungen in den konstruierten Bauteilen für die Roboterarme ermittelt, um die vorhandenen Sicherheiten der Konstruktion zu berechnen.

Für die Schnittstellen wurden mehrere Schraubenberechnungen nach Roloff/Matek Maschinenelemente durchgeführt.

Ergebnis

Die Roboterarme werden mittels additivem Fertigungsverfahren aus der Aluminiumlegierung AlSi10Mg gefertigt. Die insgesamt acht Schnittstellen sind als radiale Schraubenverbindung aufgebaut, in welchen die angreifenden Kräfte durch einen Reibschluss in der Trennfuge der Verbindung übertragen werden. Der entwickelte Knickarmroboter ist in der Lage, innerhalb von einem Radius von 760.75 mm eine Last von 2 kg zu heben, langsam zu bewegen und wieder abzusetzen. Die Bewegungen können mit einer maximalen theoretischen Positioniergenauigkeit von ± 0.5 mm durchgeführt werden. Das Gewicht des gesamten Roboters, exklusive Sockel und Grundplatte, beträgt rund 22.5 kg. Dabei beträgt der Gewichtsanteil der Roboterarme nur knapp 6 % des Gesamtgewichts.



Abb. 2: Schnittansicht Roboterarm 1 (oben) und Roboterarme 2 (unten)



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Duss Andrin
Prof. Dr. Wellig Beat
Institut IME, CC TEVT, FG TEVT
Dr. Grüniger Andrea
Energien, Fluide und Prozesse**

Negativ-Emissionen: CO₂ - Abscheidung in einem Holzheizkraftwerk

Ausgangslage

Eine grosse Herausforderung der Zukunft und wichtiger Beitrag zum Erreichen der Klimaziele des Bundes sind so genannte Negativ-Emissionen. Diese Bachelor-These untersucht die Thematik der CO₂-Abscheidung mittels Absorption in einem Holzheizkraftwerk (HHKW). Das betrachtete HHKW erzeugt durch Verbrennung von regional angeliefertem Altholz und Waldhackschnitzeln CO₂-neutralen Strom und Wärme. Die Wärme wird auf zwei Temperaturniveaus genutzt. Da je nach Umgebungstemperaturen ein variierender Bedarf an Fernwärme besteht, ist im Sommer eine Rückkühlung notwendig. Ziel dieser Bachelor-These ist zu prüfen, wie mit einer Absorptionsanlage (Abb. 1) das CO₂ durch Verwendung der ungenutzten thermischen Energie aus dem Rauchgas abgeschieden werden kann. Das optimale Design der Absorptionsanlage, ihr Betriebsbereich und die technisch-wirtschaftliche Bewertung sind dabei von besonderem Interesse.

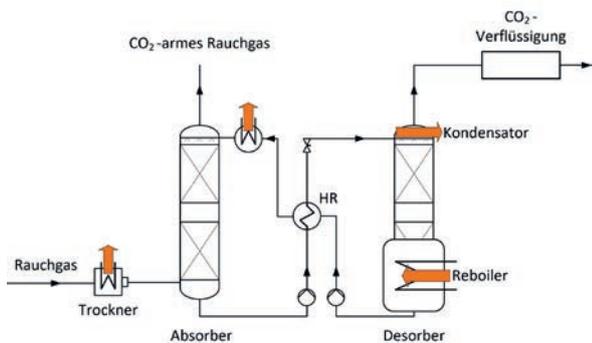


Abb. 1: Vereinfachtes Schema einer Absorptionsanlage zur CO₂-Abscheidung aus einem Rauchgas mit den benötigten Energieströmen

Vorgehen

Die CO₂-Absorptionsanlage wird in verschiedenen Auslegungsgrössen in der Simulationssoftware CHEMCAD modelliert, bewertet und die Betriebsdaten bestimmt. Zusammen mit den Betriebsdaten des HHKW und dem Prozess- und Fernwärmebedarf werden die jährlich abgeschiedenen CO₂-Mengen (Abb. 2) sowie der thermische und elektrische Energiebedarf berechnet. Zusätzlich werden die Investitions- und Betriebskosten der Absorptionsanlage berechnet. Für die Betrachtung der Transport- und Speicherkosten werden zwei Szenarien verwendet. Mögliche Veränderungen des CO₂- sowie des Strompreises und deren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage werden in einer Sensitivitätsanalyse überprüft (Abb. 3).

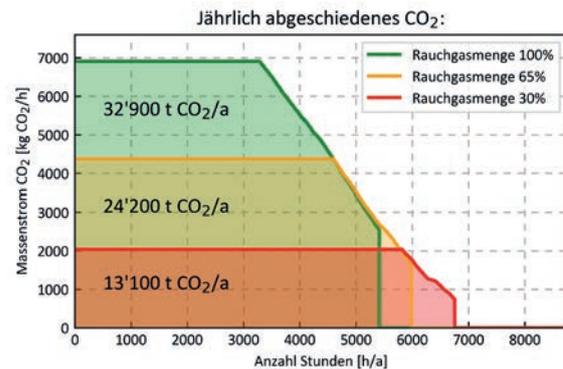


Abb. 2: Jährlich abgeschiedenes CO₂ bei verschiedenen behandelten Rauchgasmengen

Ergebnis

Die abgeschiedene Menge CO₂ variiert je nach Anlagegrösse zwischen 22 und 53 % am gesamten emittierten CO₂ des HHKW. Abhängig vom betrachteten Entwicklungsszenario betragen die Kosten für die Abscheidung, Kompression, Transport und Speicherung einer Tonne CO₂ rund 93 bis 169 CHF. Die Sensitivitätsanalyse zeigt die einflussreichsten Randbedingungen und deren Auswirkung (Abb. 3). Die Ergebnisse bestätigen: Die Entwicklung des CO₂- und Strompreises sowie die Entwicklung der politischen Rahmenbedingungen entscheiden über den wirtschaftlichen Erfolg der CO₂-Abscheidung im HHKW.

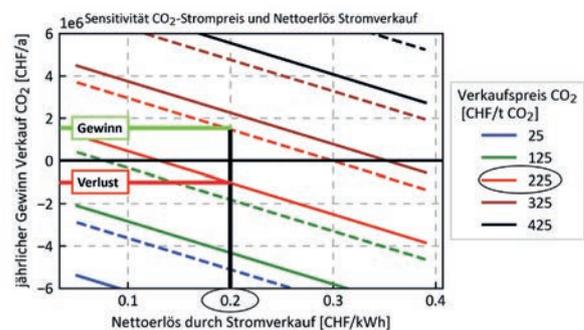


Abb. 3: Sensitivitätsanalyse Veränderung CO₂-Preis und Nettoerlös-Stromverkauf im kurzfristigen (durchgezogen, Transport auf Schiene und Strasse) und langfristigen Szenario (gestrichelt, Pipeline-Transport). Beispielsweise bei einem Nettoerlös durch den Stromverkauf von 0.20 CHF/kWh und einem CO₂-Verkaufspreis von 225 CHF/t CO₂ entsteht beim kurzfristigen Szenario ein Verlust und beim langfristigen Szenario ein Gewinn



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Eberli Lucas
Dipl. Ing. FH Lanter Joshua
Ekteos
Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung einer Roll-to-Roll Anlage für die Produktion von Graphen-Membranen

Ausgangslage

Graphen ist eine Modifikation von Kohlenstoff. Gleich wie Graphit besteht dieses aus in Sechsecken angeordneten Kohlenstoffatomen. Es wird allerdings nur eine Atomschicht dicke aufgebaut und ist somit sehr dünn.

Die Firma Ekteos möchte aus diesem Material Membranen herstellen für die Verwendung in Separationsprozessen. Durch die absolute Undurchlässigkeit von Graphen erlaubt es, durch gezieltes Erstellen von Poren, viele energieintensive Prozesse zu verbessern wie zum Beispiel das Trennen von CO₂ aus der Luft oder das Entsalzen von Meerwasser. Diese Membranen werden in mehreren Prozessschritten hergestellt. Das Graphen wird auf einer Kupfer-Folie synthetisiert. Darauf wird eine Polymerschicht aufgetragen. Anschliessend wird die Kupferfolie entfernt und die Poren in die Membran erstellt. Für eine industrielle Produktion soll dieser Prozess automatisiert werden. In dieser Arbeit sollen für die Prozessschritte vom Auftragen des Polymers bis zum Aushärten der Schicht eine Anlage entwickelt werden.



Abb. 1: Konzeptionelles Design der Anlage. Nach dem Polymerauftrag wird das Förderband in ein Wasserbad und ein Ethanolbad getaucht

Vorgehen

Das Vorgehen gliedert sich in die Teilschritte Analyse und Recherche bestehender Technologien, spezifizieren der Anforderungen, Auswahl eines Lösungskonzeptes und der Entwurf eines Funktionsmusters. Der vom Projektpartner entwickelte Prozess sieht vor, erst die Polymerlösung auf die Folie aufzutragen und anschliessend diese Folie in einem Wasserbad gefolgt von einem Ethanolbad auszuhärten. Dazu wird die Graphen-Kupfer-Folie auf ein Förderband befestigt. Über einen Auftragmechanismus wird anschliessend das Polymer in der korrekten Dicke aufgetragen. Die

zentrale Funktion ist dabei das Führen und Umlenken des Förderbands. Die flüssige Polymerschicht darf dabei nicht berührt werden, weshalb nur Umlenkrollen an der Unterseite erlaubt. Für diese Funktion wurde ein Lösungskonzept ausgearbeitet und getestet. In einer späteren Anlage ist es wichtig, dass keine Falten in der Folie entstehen. Dazu ist eine seitliche Bandlaufregelung erforderlich, welche entworfen wurde.

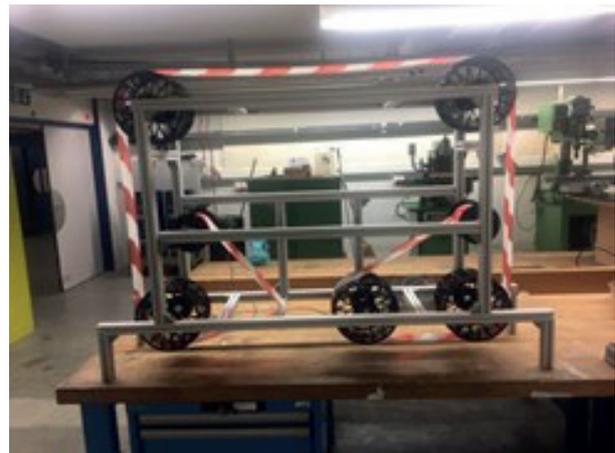


Abb. 2: Aufgebautes Funktionsmuster in der Anordnung wie in Videokassetten. Als Förderband soll später ein Kapton-Band eingesetzt werden

Ergebnis

Das angefertigte Funktionsmuster veranschaulicht gut die Funktionsweise der Anlage. Die Führung des Förderbandes wird in einer Form angeordnet, welche auch in Videokassetten zu finden ist. Das Polymer wird mittels Spritzen aufgetragen, welche mit einem Linearaktor gesteuert werden. Die Dicke wird mittels eines Schiebers aufgerollt. Nach dem Fertigstellen von diesem Funktionsmuster können anschliessend Prozessstudien durchgeführt werden.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Elefante Lorenzo Davide
Prof. Dr. Kamps Rolf
Exyte GmbH
Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Produktentwicklung & Mechatronik

Visionäre bionische Leichtbaukonzepte für modulare Tragstrukturen der ExyCell Bioproduktionsanlage

Ausgangslage

Die Reinraumtechnik ist ein wachsender Markt. Exyte entwickelt und fertigt Reinraumprodukte und Produktionsumgebungen, die ultrasaubere Luft oder kontrollierte, ultrareine Atmosphären beanspruchen. Exyte hat ein Baukastensystem entwickelt. Diese Bauweise ermöglicht eine einfache Planung und einen schnellen Aufbau einer Fertigungslinie. Dies ist neu und kann als eine Nische betrachtet werden. Modulare Reinraumkonzepte sind für die Pharmaindustrie interessant, weil hiermit die Aufbauzeiten und Investitionskosten für eine neue Fertigungslinie erheblich reduziert werden können. So können individualisierte Medikamente und kleine Chargen ohne die ansonsten grossen Aufwände für den Umbau der bisherigen Produktionsanlagen aufgrund ihrer flexiblen Bauweise schnell realisiert werden.

Die Lösung welche Exyte anbietet ist das modulare Reinraumkonzept ExyCell. Ein in Haus hergestellter Reinraum, unter kontrollierter Begebenheiten gefertigt und kundenspezifisch dimensioniert. Dabei ist der Reinraum an sich ein fertiges und unabhängiges System und kann vom Kunden in einer geeigneten Räumlichkeit betrieben werden. Die Planungszeit bis zur Inbetriebnahme wird durch die Modularität stark verkürzt und die Innovationen werden beschleunigt. Für das bestehende Versorgungsmodul der ExyCell, welches als klassischer Fachwerkträger ausgeführt ist (siehe Abb. 1), sollen visionäre bionisch inspirierte Leichtbaukonzepte erarbeitet werden. Ziel ist nicht nur die Masse zu verringern, sondern auch das Erscheinungsbild der Tragstruktur soll die Verbindung zur Biologie aufzeigen.



Abb. 1: Bestehendes Versorgungsmodul der ExyCell

Vorgehen

Nach Besichtigung der bestehenden ExyCell wurden sowohl die Struktur als auch die Lasten analysiert. Durch Topologie Optimierungen mittels FE-Methoden, klassische Leichtbauprinzipien und die Erweiterung um bionisch inspirierte

Ansätze, welche lastabhängig an die Tragwerksstrukturen angepasst wurden, konnte eine komplett andere Struktur entwickelt werden. Die Konzepte wurden mittels FEM-Berechnungen in ANSYS (siehe Abb. 2) auf maximale Verformung, Vergleichsspannungen und Knicklast analysiert. Mit dem CAD-System Siemens NX wurden die Komponenten entworfen. Neben der Gewichtsreduzierung standen auch fertigungs- und kostengerechte Bauteilgestaltung im Zentrum dieser Arbeit.

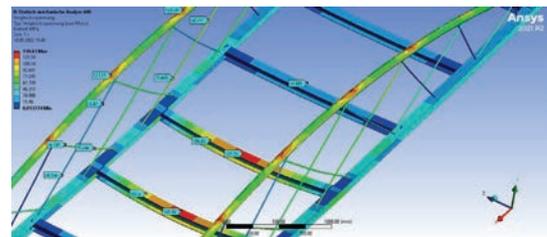


Abb. 2: FEM-Analyse der Tragwerksstruktur

Ergebnis

Durch die bionisch inspirierte Leichtbaustruktur konnte nach ersten Berechnungen das Gesamtgewicht der Tragstruktur um mehr als 50 % gegenüber der Ausgangsversion reduziert werden. Abb. 3 zeigt das Ergebnis. Hier wurden bionische Konzepte von Bambuspflanzen, Wabenstrukturen und Strukturelemente aus schlanken Druckstäben in Kombination mit Zuggurten, wie sie uns unsere Skelettstrukturen zeigen, in eine technisch herstellbare Stahlblechkonstruktion transformiert. Mit dieser Arbeit konnte aufgezeigt werden, dass ein bionisch inspirierter Leichtbau grosses Potential zur Gewichtsreduzierung bietet und eine fertigungsgerechte Umsetzung in eine Blechkonstruktion möglich ist. Die optische Erscheinung wirkt ansprechend und leicht.



Abb. 3: Ergebnis Neukonzept der Tragwerksstruktur



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Heggin Roger
Dipl. Ing. FH Lanter Joshua
LCA Automation AG
Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Produktentwicklung & Mechatronik**

Entwicklung eines modular aufgebauten Schraubsystems mit Messkurvenaufzeichnung

Ausgangslage

In modernen Produktionslinien werden immer häufiger automatisierte Schraubsysteme eingesetzt. Die Aufzeichnung von Prozessdaten wie Drehmoment oder Drehwinkel (Abb. 1), sind wesentliche Bestandteile für die Qualitätssicherung der Endprodukte. Befinden sich diese Schraubverbindungen an sicherheitsrelevanten Bauteilen, sind redundante Messsysteme und eine lückenlose Prozessüberwachung vorgeschrieben. Die Firma LCA Automation AG entwickelt und baut seit 50 Jahren Sondermaschinen und verkettete Montageanlagen in verschiedenen Industriebranchen. Dazu zählen unter anderem Branchen wie Automobil- und Lebensmittelindustrie, Baustoff- und Konsumgüterproduktion sowie Medizintechnik. Ein modulares Schraubsystem soll entwickelt werden, um mit einem breiten Spektrum von austauschbaren Elementen eine Lösung anbieten zu können, welche direkt auf die spezifischen Kundenanforderungen zugeschnitten werden kann.

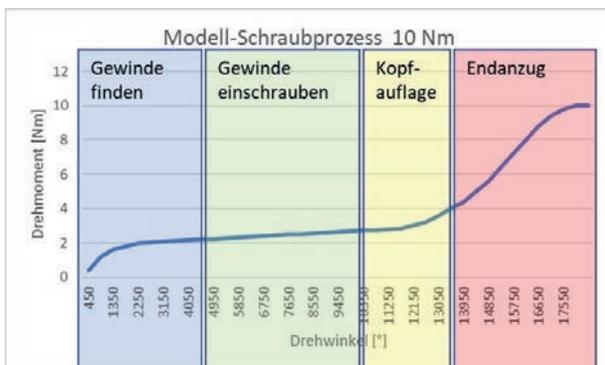


Abb. 1: Modell-Schraubkurve mit vier Abschnitten

Vorgehen

Auf den Vorgaben des internen Lastenheftes wurde durch die systematische Anwendung von einem morphologischen Kasten und einer Nutzwertanalyse einzelne Teilsysteme zu einem fundierten Grobkonzept zusammengestellt. Mehrere Leistungs- und Ausbaustufen sind definiert und während der Konstruktionsphase berücksichtigt worden. Die für die Auslegung der Antriebskomponenten relevanten Werte, wie Drehmoment, Drehzahl und Schraubzeit wurden auf der Basis von zwei Referenzschraubkurven erstellt. Eine Taktzeitanalyse lieferte die Angaben für die Dimensionierung der pneumatischen Aktuatoren wie Ventile, Drosseln und Zylinder. Durch Erkenntnisse aus analytischen Vorauslegungen und Untersuchung mehrerer Bauteile mit der Finiten-Elemente-Methode (Abb. 2), konnte die gewünschte Stabilität auch unter Anwendung eines leichten Aluminiumwerkstoffes erreicht werden. Eine Marktanalyse und eine

Abschätzung zum Zeitpunkt des Return of Investment beleuchtet die kommerziellen Chancen des Systems.

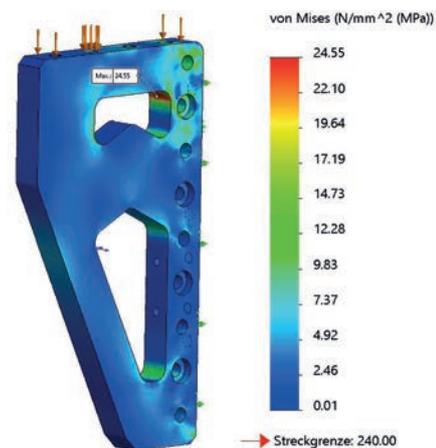


Abb. 2: FEM-Modell Seitenteil

Ergebnis

Um ein breit abgestütztes System bereitstellen zu können, sind zwei unterschiedliche Ausbaustufen ausgearbeitet worden. Ein vereinfachtes System (Solo-Process-System, SPS) mit 80 mm Initialhub und ein erweitertes System (Full-Process-System, FPS) mit 80 mm Initial- und zusätzlichen 50 mm Bithub. Diese beiden Systeme können wiederum in zwei Leistungsabstufungen mit Nenndrehmomenten von 10 Nm und 50 Nm konfiguriert werden (Abb. 3). Zusätzlich lässt der Aufbau Schnittstellen zu externen Maschinenkomponenten zu. So können beispielsweise die Schraubköpfe und die damit verbunden Schraubenzuführsysteme von verschiedenen Herstellern adaptiert werden. Die Aufzeichnung der relevanten Prozessdaten wird über eine direkt in der Schraubachse angeordnete Messsensorik und den nachgeschalteten Interfaceboxen an die Schraubsteuerung weitergeleitet. So kann die Qualität der Schraubverbindungen über den gesamten Prozess sichergestellt werden.



Abb. 3: Schraubsysteme FPS-50 und SPS-10



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Herzog Tobias
Prof. Dr. Kamps Rolf
Bühler AG
Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung eines Getreideklassier Modelles

Ausgangslage

Die Bühler AG ist im Bereich der Getreidelagerung tätig. Vor der Lagerung von Getreide muss dieses vorgereinigt werden. Im Normalfall wird dies mit sogenannten Siebklassierern erreicht.

Eine weitere mögliche Vorgehensweise ist die sogenannte Luftklassierung. Hierbei lenkt ein erzeugter Luftstrom senkrecht einfallendes Getreide in Abhängigkeit des Eigengewichtes in Horizontalenrichtung aus. Leichtere sowie schwerere Anteile in dem Getreide werden unterschiedlich ausgelenkt als das 'gute' Korn.

Durch Anordnung mehrerer Auffangbehälter in Richtung des Luftstromes wird so eine effiziente Trennung des Kornes von dem Besatz möglich. Um die Tauglichkeit dieses Vorgehens auf industrieller Grössenordnung zu untersuchen, soll das Konzept an einem skalierten Modell analysiert werden.

Vorgehen

Das Projekt wurde mithilfe eines Zeitplanes in Planung, Recherche, Umsetzung sowie Tests und Untersuchungen aufgeteilt.

Die Aufgabe lag darin, das Modell den Anforderungen gerecht umzusetzen, um so das Konzept auf skalierten Gegebenheiten zu untersuchen. Das Projekt umfasste die Auslegung, Bestellung von Komponenten sowie Herstellung und Montage der Vorrichtung.

Ergebnis

In der Testphase konnte gutes Klassierverhalten an dem Modell beobachtet werden. Dies bietet eine gute Ausgangslage für anschliessende Projekte. Dank der modularen Bauweise lässt sich die Anlage schnell modifizieren und erweitern. Anpassungen sind in dem Sinne schnell umsetzbar, da immer auf Ressourcen der HSLU zurückgegriffen wurde.

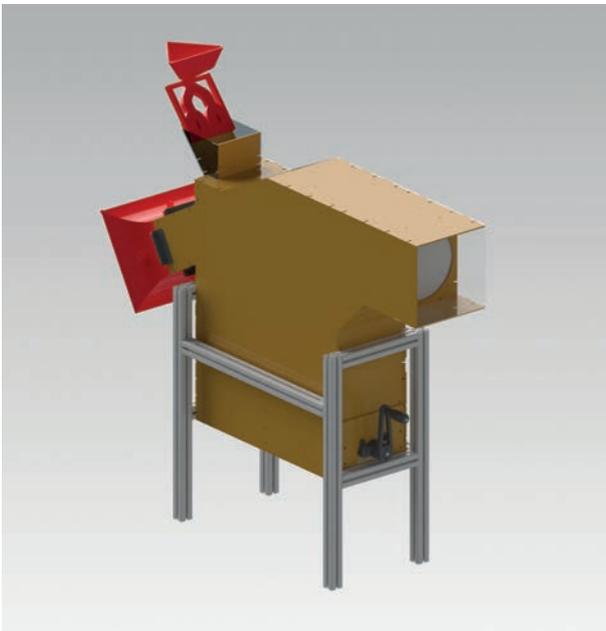


Abb. 1: CAD Modell

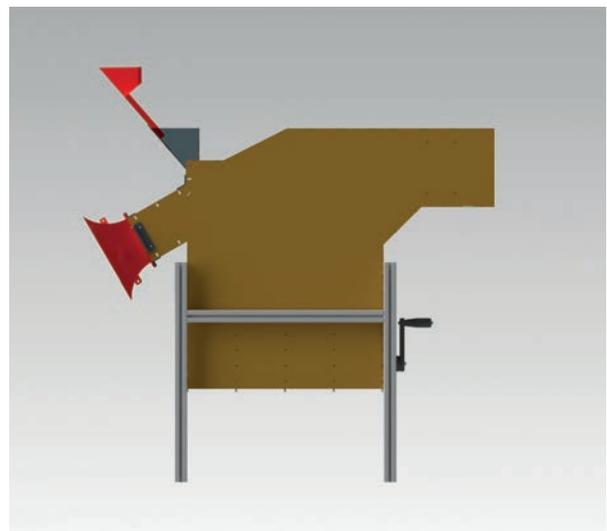


Abb. 2: CAD Modell



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Heuberger Mattia Ch.
Prof. Dr. Haack Carsten
Institut für Medizintechnik, CC BME
Dr. Morach Rudolf
Produktentwicklung & Mechatronik

Low-cost Random Positioning Machine, Validierung

Ausgangslage

Seit der Mensch gemerkt hat, dass die Schwerelosigkeit einen Einfluss auf den eigenen Körper und die Zelle hat, betreibt er Forschung, um dieses Phänomen zu begründen. Eine Möglichkeit dafür ist die Random Positioning Machine. In der Umgebung der RPM herrscht nicht direkt keine Schwerkraft, sondern diese wird simuliert. Die Probe, die innerhalb der Maschine platziert wird, rotiert um zwei Achsen. Das führt dazu, dass sich der Gravitationsvektor, der auf die Probe wirkt, ständig neu ausrichtet. Mit der Hilfe eines Random-Walk Algorithmus werden die Rotationsrichtung und Geschwindigkeiten zufällig generiert. Die Kosten für eine solche RPM sind hoch einzuschätzen, weshalb die Idee einer Low-Cost Version entstanden ist. Diese soll, dank einem geringen Verkaufspreis vor allem Studenten und Laboranten ansprechen, die die Effekte der Mikrogravitation untersuchen wollen, aber kein grosses Budget besitzen. Um dieses Ziel zu erreichen, soll die RPM wenn möglich mit dem 3-D-Druckverfahren hergestellt werden. Es muss aber gezeigt werden, dass mit diesen Bauteilen die nötige Genauigkeit erreicht werden kann, damit die Maschine einwandfrei läuft.

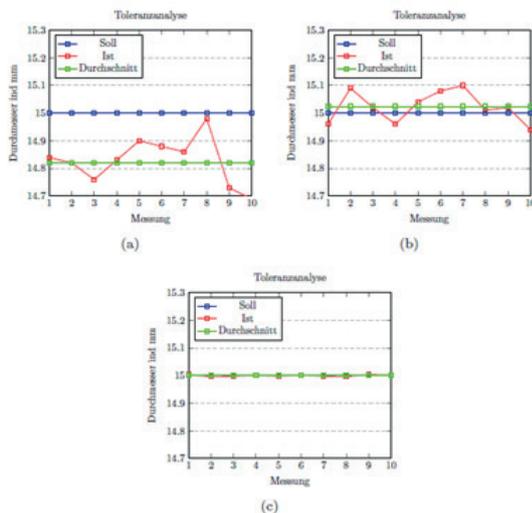


Abb. 1: Toleranzanalyse des (a) unbearbeitetes kritischen Bauteil, (b) Druckteil mit höherer Auflösung, (c) nachbearbeitetes Teil

Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde der vorhandene Prototyp auf Schwachstellen untersucht. Diese wurden analysiert und dazu verschiedene Konzepte zur Verbesserung erarbeitet. Dazu wurde eine Toleranzanalyse durchgeführt, die die Folgen der Ungenauigkeiten des 3-D-Drucks aufzeigen soll. In der Abb. 1 ist die Abweichung des Ist- vom Sollwert

von drei unterschiedlichen Wellen zu sehen. Um das Ganze nicht nur mechanisch zu optimieren, wurde zusätzlich eine Kostenanalyse durchgeführt. Damit sollen die Ausgaben minimiert werden, damit die RPM möglichst preisgünstig verkauft werden können. Für den Vertrieb wurde zusätzlich eine Produktstruktur erarbeitet, die die RPM in drei Varianten unterschiedlicher Preisklasse aufteilt.

Ergebnis

Es wurden die gesamten Bauteile der RPM gedruckt und eingekauft. Die Kosten für die Maschine konnte stark gesenkt werden und belaufen sich auf ungefähr 300 CHF. Die RPM wurden zum Schluss zusammengebaut und erste Tests am gesamten System durchgeführt. Dank der zweiten Lagerung und der nachbearbeiteten Welle ist der Rundlauf stark verbessert worden. Fortschritt wurde auch in der Bahnplanung gemacht. Es sind nun drei unterschiedliche Softwarepakete vorhanden mit denen man die RPM antreiben kann. Im komplexesten Paket wurde eine Version des Random-Walk Algorithmus implementiert, die funktioniert, aber noch verbessert werden kann. Die Ziele der Arbeit sind erreicht worden und die RPM ist bereit für Experimente (Abb. 2).

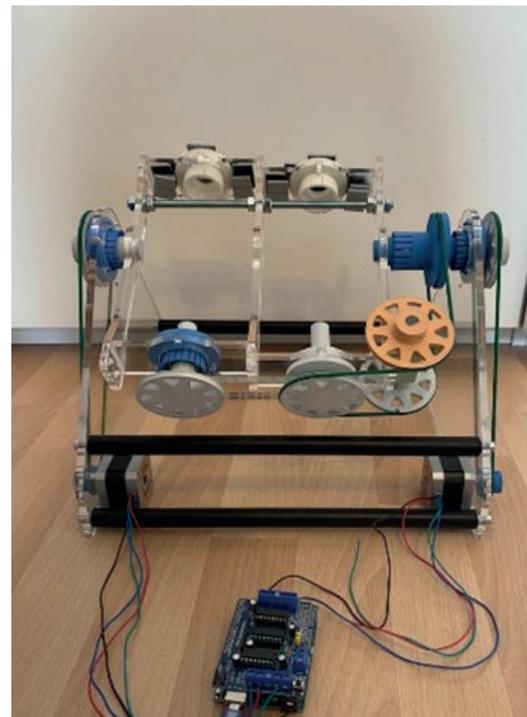


Abb. 2: Der aktuelle Prototyp der RPM



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Jaun André
Prof. Dr. Haack Carsten
Thermoplan AG
Dr. Morach Rudolf
Produktentwicklung & Mechatronik**

Mahlgutdosierung für Kaffeefullautomaten

Ausgangslage

Die Firma Thermoplan AG stellt vollautomatische Kaffeemaschinen her, welche vor allem für Grossverbraucher in der Gastronomie verwendet werden. Die Dosierung der jetzigen Kaffeemaschinen verläuft über die Kaffeemühle, welche zeitgesteuert ist. Nach einer gewissen Zeit hört die Kaffeemühle auf zu drehen und der gemahlene Kaffee wird in die Brühkammer weitergeschoben. Es soll dazu ein Dosiersystem entwickelt werden, welches die Dosierung der Bohnen oder des Pulvers bezweckt. Das Ziel liegt darin, ein Dosiersystem zu entwickeln, welches eine konstante Qualität an Kaffee bieten kann. Als Richtwert wird eine Portion von 7 Gramm Pulver/ Bohnen angenommen.

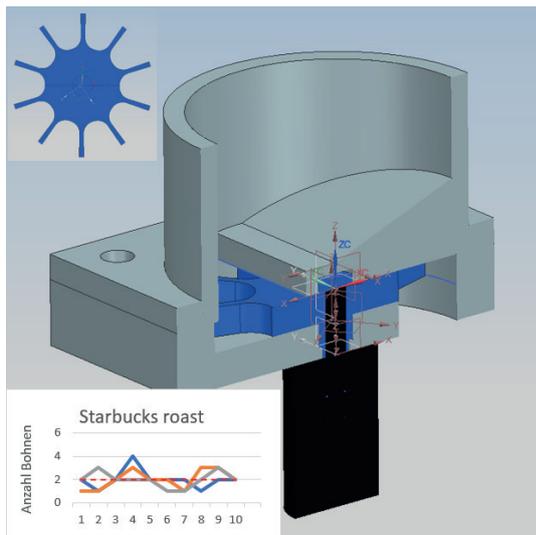


Abb. 1: Prototyp Bohnendosierung

Vorgehen

Als erstes wurden die wichtigsten Komponenten der Kaffeemaschinen aufgeteilt und zu den einzelnen Unterteilungen passende Dosierprozesse benannt. Daraus wurde entschieden, dass die Dosierung entweder zwischen dem Bohnenbehälter und der Kaffeemühle (Bohrendosierung) oder zwischen der Kaffeemühle und der Brühkammer (Pulverdosierung) realisiert werden soll. Anschliessend wurden Ideen gesammelt bezüglich der Dosiersysteme, welche anhand des Trichtermodells weiter ausdetailliert wurden. Bezüglich der Bohrendosierung wird die Vereinzelung der Kaffeebohnen getestet (Abb. 1). Dadurch sollen vom Kaffeebehälter die Bohnen gezählt werden, welche in die Kaffeemühle gelangen. Bei der Pulverdosierung wurde getestet, ob anhand des erstellten Portotyps (Abb. 2) das Pulver durch den Prototyp fließen kann. Dazu wurden zwei Prototypen erstellt, einer für die Variante der Gewichtsmessung und der andere für die Ausführung mit einer Lichtschranke (Abb. 2).

Ergebnis

Mit dem Prototyp Bohrendosierung wurde getestet, wie viele Bohnen sich in einer Unterteilung des Rades (Abb. 1, blau) befinden und wie viele Unterteilungen es benötigt, um den Richtwert von 7 Gramm Bohnen zu erhalten. Dafür wurde mit drei verschiedenen Bohnensorten getestet. Es wurden drei Messdurchgänge mit je 10 Messungen pro Sorte durchgeführt. Die Werte in den Unterteilungen variierten zwischen einer und vier Bohnen (Abb. 1). Dadurch war das Ergebnis für die Bohnen in den Unterteilungen sehr unterschiedlich. Der Prototyp der Gewichtsmessung in Abb. 2 veranschaulicht die Pulverdosierung. Das Pulver sollte durch Herunterziehen des Zylinders in die Brühkammer fließen. Leider floss das Pulver nicht wie erwartet und ergab dadurch ungenügende Resultate. Beim zweiten Aufbau wurde das Federblech (blau) heruntergedrückt, dadurch floss das Pulver besser durch den Prototyp. Die Ergebnisse mit dem Federblech fielen besser aus als die mit der Gewichtsmessung (siehe Messwerte Abb. 2).

Um die Werte zu verbessern, sollte der Aufbau etwas anders konstruiert werden und gleitfähigere Materialien sollten getestet werden. Bei der Realisierung wird der Prototyp mit der Vereinzelung bevorzugt.

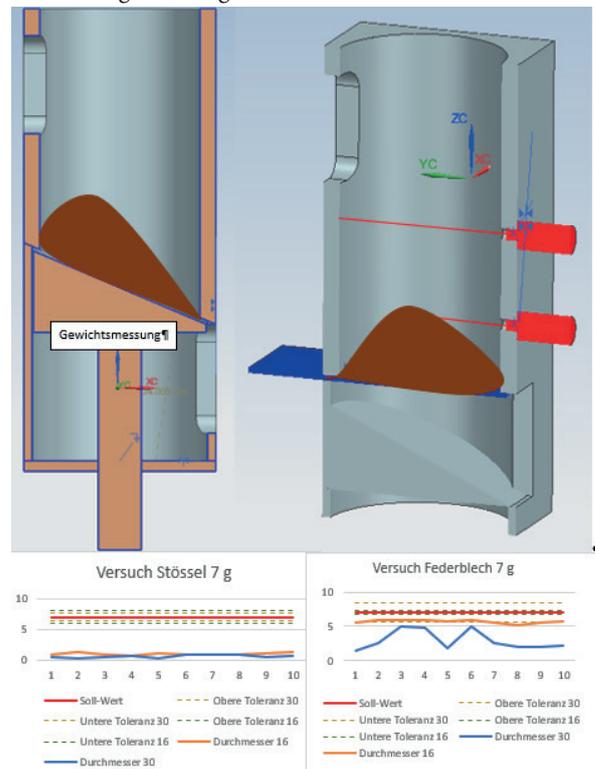


Abb. 2: Prototyp Pulverdosierung; links Gewichtsmessung, rechts Lichtschranke



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Kljajic Mateo
Dipl. Ing. FH Kirchhofer Pierre
Institut IME, CC Thermische Energiespeicher
B. Sc. ME Janssen Stephanie
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung einer Druckkammer für Computertomographie

Ausgangslage

Das CC Thermische Energiespeicher betreibt Materialforschung mittels Computertomographie (CT). Für die Untersuchung von Proben mittels des CTs unter Druck fehlt jedoch noch eine geeignete Druckkammer, die sowohl druckstabil ist als auch leicht von der Röntgenstrahlung durchdringt werden kann. Dies soll sich mit Hilfe einer in dieser Arbeit entwickelten und gebauten Druckkammer ändern. Diese darf im durchstrahlten Bereich nicht aus Metall aufgebaut sein, da ansonsten in den Röntgenbildern ein Schimmern entsteht (Abb. 1 links). Gleichzeitig muss die Druckkammer eine grosse Öffnung haben, um Proben platzieren zu können.

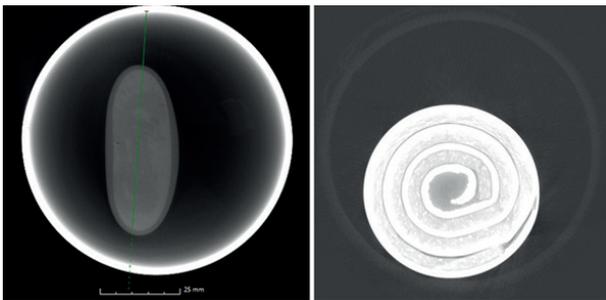


Abb. 1: Vergleich zweier CT-Messungen
(links: Druckkammer aus Metall, rechts: CFK-Rohr)

Vorgehen

Als Einstieg wurde eine Technologierecherche durchgeführt, um mit der Thematik vertraut zu werden. Nach der Wahl von geeigneten Materialien wurden für die Konzeptentwicklung die geometrischen Randbedingungen des Computertomographen analysiert und eine Konzeptvariante konnte erarbeitet werden.

Von dieser wurden zuerst CAD-Modelle mit niedrigem Detaillierungsgrad erstellt. Dies ermöglichte eine fundierte Bewertung des erstellten Konzepts. Nach Besprechung mit dem Industriepartner wurden unter Berücksichtigung von Verbesserungsvorschlägen detaillierte CAD-Modelle ausgearbeitet und die wichtigsten Komponenten wurden mit Berechnungen ausgelegt.

Ergebnis

Das Lösungskonzept besteht aus drei Druckkammern für unterschiedliche Probengrößen (Abb. 2). Dabei besteht jede Druckkammer aus zwei Teilen. Einerseits der Probenkammer bestehend aus einem GFK-Zylinder, in welchem die Proben platziert werden können, und andererseits einem Temperierboden aus Aluminium, in welchem die Systeme für die Temperierung eingebaut sind und an welchem die Anschlüsse befestigt werden.

Das ganze System ist dabei modular aufgebaut. So sind Probenkammer und Temperierboden durch einen Flansch miteinander verbunden und lassen sich somit auch voneinander trennen. Dadurch konnte ein Konzept entwickelt werden, bei welchem der Temperierboden für alle drei Größen der Probenkammer passt. Somit wird nur ein Temperierboden benötigt, wodurch sich Materialkosten einsparen lassen.

Für eine weitere Ausarbeitung des entwickelten Lösungskonzept ist der erstellte Prototyp der Druckkammer mittels Messungen unter Druck zu validieren und gegebenenfalls nachzubessern.

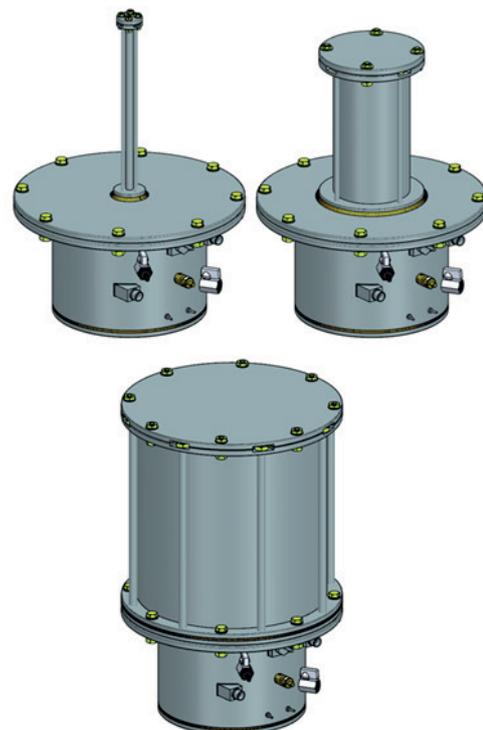


Abb. 2: CAD-Zeichnungen der entwickelten CT-Druckkammern



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Krummenacher Moritz
Prof. Dr. Kleingries Mirko
Institut IME, CC TEVT
Gasser Lukas, Alera energies AG
Energien, Fluide und Prozesse**

Sorptions-Wärmespeicher - Evaluation stationärer Betriebspunkte

Ausgangslage

Die Möglichkeit zur Speicherung von thermischer Energie im Gebäudesektor gilt als Schlüsselfaktor für eine verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energiequellen. Die Technologie der Sorptionswärmespeicherung ist dabei vielversprechend. Der grosse Vorteil und damit die Hauptanwendung von Sorptionsspeichern liegt in der verlustlosen Langzeitspeicherung und grossen volumetrischen Energiespeicherdichte. Gespeichert wird nicht Wärme im engeren Sinne, sondern das Potenzial, Wärme zu einem gewünschten Zeitpunkt von einem tiefen auf ein höheres Niveau zu heben (Wärmepumpe). An der Hochschule Luzern wird ein solcher Sorptionswärmespeicher erforscht. In Abb. 1 ist der Masse-Wärme-Übertrager (MWÜ) dieser Anlage zu sehen. Dieser kommt beim Laden oder Entladen des Sorptionsmittels zum Einsatz.

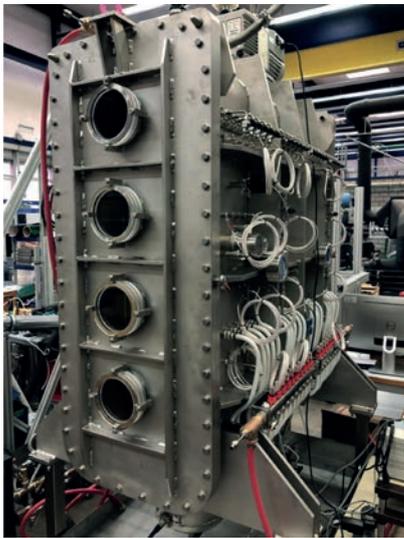


Abb. 1: Masse-Wärme-Übertrager des Sorptionspeichers an der HSLU

Vorgehen

Zu Beginn wurde eine theoretische Einführung in das Thema der Sorptionswärmespeicherung erarbeitet. Für die Erstbetriebnahme der Anlage mussten Versuche durchgeführt und Optimierungen umgesetzt werden. Anschliessend wurden Messungen bei verschiedenen statischen Betriebspunkten durchgeführt und ausgewertet. Dabei waren vor allem die Leistungen, die Temperaturhübe, die erreichten Konzentrationen des Sorptionsmittels, die max. theoretisch mögliche Energiespeicherdichte, sowie die erreichten Energiespeicherdichten von Interesse.

Ergebnis

Absorption (Entladeprozess)

Es konnte gezeigt werden, dass bei gleicher Leistung die minimale Temperatur im Absorber einen grösseren Einfluss auf Energiespeicherdichte hat als die maximale Temperatur. Letztere scheint jedoch einen grösseren Einfluss auf die Leistung zu haben als der realisierte Temperaturhub. Ausserdem lässt sich vermuten, dass die Abweichungen zur minimalen Gleichgewichtskonzentration mit steigendem Brutto-Temperatur-Hub (BTH), entsprechend der blauen Trendlinie, abnimmt (Abb. 2).

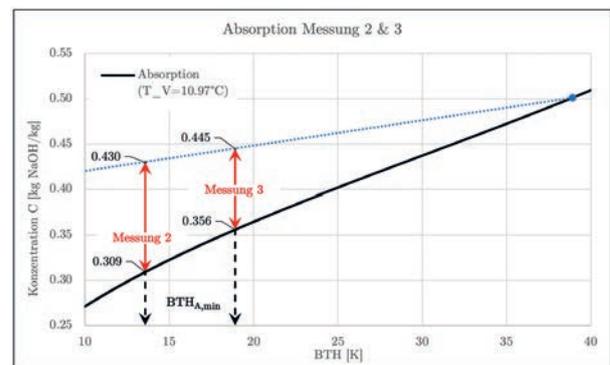


Abb. 2: C-BTH-Diagramm mit der Gleichgewichtskurve (schwarz) und den Abweichungen der Messungen 2 & 3 von dieser

Desorption (Ladeprozess)

Es konnte gezeigt werden, dass die Leistungen und die erreichten Konzentrationen sehr stark vom Temperaturniveau der Desorption abhängen (Abb. 3). Ausserdem lässt sich vermuten, dass die benötigte Differenz des BTH vom theoretisch minimal nötigen Wert, um eine bestimmte Konzentration zu erreichen, unabhängig vom Temperaturniveau der Desorption ist.

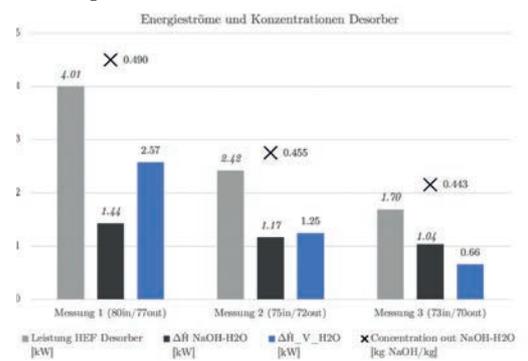


Abb. 3: Energieströme und Konzentrationen der Messungen bei der Desorption



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

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

Entwicklung eines Drehmomentanschlages und Überarbeitung des Schliessventils eines Hydranten-Unterteils

Ausgangslage

Hydranten sind ein wichtiger Bestandteil einer modernen Infrastruktur. Sie werden selten benötigt, müssen jedoch im Ernstfall zuverlässig einsatzbereit sein und dürfen nicht ausfallen. Die Firma Hinni Infra Services AG ist seit 1990 im Bereich der Wartung von Hydranten tätig und produziert seit 1995 eigene Hydranten-Systeme. Um die marktführende Position in der Schweiz zu halten und auszubauen, werden die Produkte fortlaufend verbessert und weiterentwickelt.

In einem ersten Konzeptentwurf wurde das Bedienmoment zum Öffnen und Schliessen des Ventils auf unter 10 Nm reduziert und in einem weiteren Schritt hinsichtlich der Herstellbarkeit und Wartungsfreundlichkeit des Ventils verbessert.

Ziel dieser Arbeit ist es, die vorangegangenen Konzepte um einen Drehmomentanschlag zu erweitern und so ein Gesamtkonzept für das Hydranten-Unterteil zu erhalten. Der Drehmomentanschlag soll die Betätigungskraft von 250 Nm in den Anschlagpositionen aufnehmen und zugleich die Umdrehungen begrenzen.

Vorgehen

Der Schwerpunkt liegt vorerst auf der Erarbeitung eines Drehmomentanschlages, welcher die Bedienkräfte beim Öffnen und Schliessen des Ventils aufnimmt. Die angestrebte Gesamtfunktion wird zur Lösungsfindung in Teilfunktionen zerlegt, und anschliessend mittels Nutzwertanalyse bewertet. Dabei wird der bereits zum Einsatz kommende Drehmomentanschlag der Firma Hinni Infra Services AG als bestmögliche Lösung identifiziert und somit eine Schwerpunktverlagerung auf die Gesamt-Weiterentwicklung des Hydranten-Unterteils vorgenommen mit Fokus auf ein ausbaubares und revisionsfreundliches Ventilkonzept und unter Einbezug der bereits erarbeiteten Lösungen für Anschlag und Höhenverstellung des Hydranten-Unterteils.

Ergebnis

Das erstellte Gesamtkonzept für den Hydranten-Unterteil (Abb. 1) erfüllt die gestellten Anforderungen hinsichtlich des Bedienmomentes und des geforderten Durchflusses vollumfänglich. Die Höhenverstellung wurde aus dem bestehenden Hydranten-Unterteil übernommen und an den grösseren Durchmesser adaptiert. Für die höchstbelasteten Komponenten wurde ein Festigkeitsnachweis erbracht. Ein 3D-gedrucktes Modell zeigt alle Funktionen des Hydranten-Unterteils. Dieses Modell wird mit Abschluss der Arbeit an die Firma Hinni Infra Services AG übergeben.



Abb. 1: Gesamtkonzept für das Hydranten-Unterteil



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Laupper Daniel
Dr. Auerswald Janko
V-ZUG AG
Dr. Lehr Andreas
Produktentwicklung & Mechatronik**

Feuchtebarriere für die automatische Spülmitteldosierung in Geschirrspülern

Ausgangslage

Die Geschirrspüler des Schweizer Traditionsunternehmens V-ZUG AG zählen dank ihren sparsamen Programmen und der innovativen Wärmepumpentechnologie zu den umweltfreundlichsten Geräten auf dem Markt. Um das Geschirrspülen noch komfortabler und nachhaltiger zu gestalten, beschäftigt sich die V-ZUG AG mit der Entwicklung eines automatischen Dosiersystems für pulverige Geschirrspülmittel, das stets die optimale Menge an Reiniger zuführt. Wie frühere Erfahrungen gezeigt haben, ist die Umsetzung eines Dosiersystems, das über die gesamte Betriebsdauer störungsfrei funktioniert, anspruchsvoll. Eine der Herausforderungen, die sich dabei stellt, ist die hohe Feuchtigkeit im Geschirrspüler. Gelangt die Feuchtigkeit ins Dosiersystem und dringt bis zum Reiniger vor, kann sie vom Spülmittel adsorbiert werden und seine Fliesseigenschaften beeinträchtigen. Die Arbeit hatte deshalb zum Ziel, Konzepte für eine Feuchtebarriere zu entwerfen, die den Feuchteeintritt in das Dosiersystem verhindern.

Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde die Feuchteentstehung im Geschirrspüler theoretisch untersucht. Um die gewonnenen Erkenntnisse zu vertiefen, wurde ein Konkurrenzprodukt mit Feuchtesensoren versehen und die Feuchte, die im Verlauf eines Spülprogramms im Dosiersystem auftritt, ausgemessen. Aufbauend auf diesen Grundlagen wurden anschliessend zwei Konzepte für die Feuchtebarriere erarbeitet und ein Prüfstand realisiert, mit dem sich die prinzipielle Eignung der beiden Lösungen untersuchen lässt.

Ergebnis

Das Resultat der Arbeit sind zwei Lösungskonzepte, die auf dem Prinzip einer Klappenschleuse aufbauen. Beim ersten Konzept wird der Luftaustausch zwischen Bottich und Dosiersystem durch zwei wechselseitig öffnende Klappen verringert. Im zweiten Konzept wird zusätzlich Spülluft in die Schleuse eingblasen, um die eingetretene feuchte Luft zu verdrängen. Anhand der Messungen am Prüfstand liess

sich nachweisen, dass die Feuchte im Dosiersystem durch die Klappenschleuse reduziert wird. Es gelingt aber mit keiner der beiden Lösungen, den Feuchteeintritt vollständig zu verhindern. Für die erfolgreiche Umsetzung des Pulver-Dosiersystems sind deshalb weitere Grundlagenforschungen notwendig, die auf den Ergebnissen dieser Arbeit aufbauen.

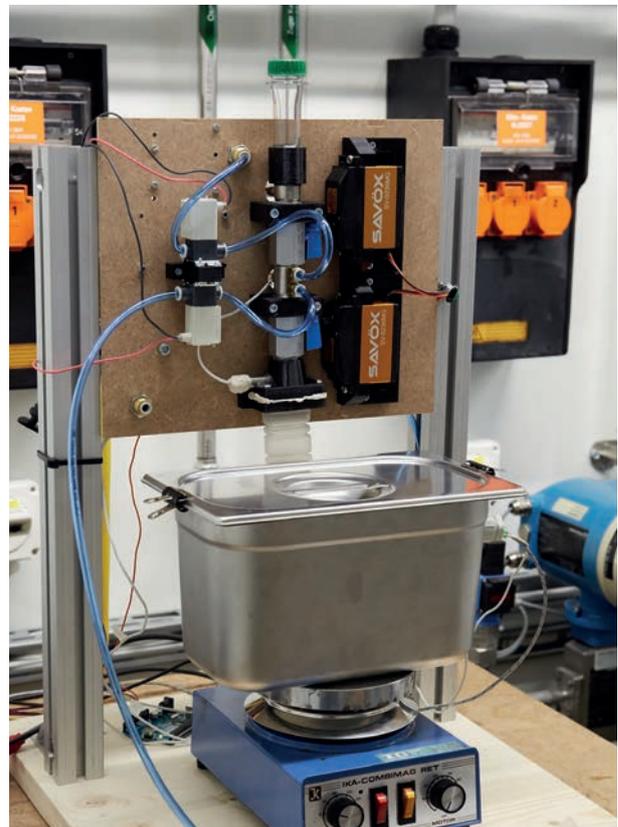


Abb. 1: Realisierter Prüfstand für die Klappenschleuse in der Konfiguration «Spülluft»



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Lipp Michael
Prof. Baumann Ralf
Siemens Schweiz AG
Dipl. Ing. ETH Bucher Beat
Produktentwicklung & Mechatronik

Dynamische FEM Analysen von Stirnradgetrieben eines Stellantriebs

Ausgangslage

Die Entwicklungsabteilung der Siemens Schweiz AG arbeitet an einer neuen Luftklappen- und Ventiltriebsgeneration. Aktuell wird für jede Applikation eine eigene Motor-/Getriebe-Konfiguration eingesetzt. Neu soll mit einem Motor und dem dazu gehörigen Getriebe mehrere Applikationen bedient werden. Dies bedeutet, dass ein Getriebe mit verschiedenen Drehzahlen angetrieben wird und infolgedessen unerwünscht laute Getriebegeräusche entstehen können. Dies muss unter allen Umständen kosteneffizient verhindert werden. Ziel dieser Bachelor-Thesis ist es, ein Simulationsmodell eines bestehenden Getriebes aufzubauen, damit die potenziellen akustischen Probleme identifiziert und behoben werden können. Da hiermit für die Siemens Schweiz AG Neuland betreten wird, müssen die Simulationsergebnisse zwingend validiert werden.

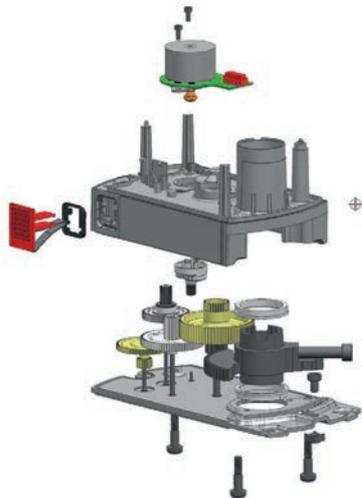


Abb. 1: Explosionsdarstellung eines bestehenden Getriebes

Vorgehen

Grundsätzlich versteht sich die Vorgehensweise als iterativer Prozess, welcher aus der Simulation, den Messungen und dem Validieren besteht. Dazu soll eine Simulation auf Grundlage eines vorhandenen Getriebes (Abb. 1) aufgebaut und getestet werden. Die Simulation wird mit Ansys-Motion aufgebaut. Ansys-Motion wird für Mehrkörpersimulationen eingesetzt, wobei unter anderem auch Getriebe simuliert und analysiert werden können. Das Getriebegehäuse und die Getriebeplatine werden als modal-flexible Bauteile idealisiert, das heisst deren Nachgiebigkeiten werden auf Basis der Eigenschwingungen berücksichtigt. Die Zahnräder werden mit dem Drive Train Toolkit als starre Bauteile idealisiert (Abb. 2).

Für die Validierung werden zwei Messungen durchgeführt.

Mithilfe einer Geräuschmessung kann die Geräuschentwicklung des Getriebes gemessen werden und mit einer Beschleunigungsmessung kann das dynamische Verhalten des Getriebes festgehalten werden.



Abb. 2: Simulationsmodell oben mit und unten ohne Getriebegehäuse

Ergebnis

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der erste Iterationsschritt durchgeführt. Durch die gewählte Idealisierung ist das Simulationsmodell funktionsfähig und die im Getriebe entstehenden Beschleunigungen können simuliert werden. Bei einer Motordrehzahl von 1000 RPM kann mit dem Simulationsmodell die Zahneingriffsfrequenz von 233,5 Hz der ersten Verzahnungsstufe simuliert werden (Abb. 3). Zwischen der gemessenen Beschleunigung und der simulierten Beschleunigung besteht eine Differenz, entstehend durch fehlende Nichtlinearitäten im Simulationsmodell.

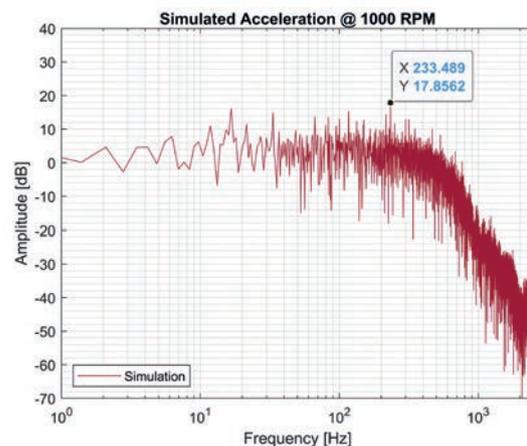


Abb. 3: Zahneingriffsfrequenz der ersten Stufe bei 1000 RPM



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Lussy Simon
Dr. Auerswald Janko
V-ZUG AG
Dr. Lehr Andreas
Produktentwicklung & Mechatronik

Innovatives Downdraft-Konzept für ein Kochfeld

Ausgangslage

Kochen wird für den Menschen in der heutigen Zeit zu einem echten Erlebnis. So dient Kochen als Abwechslung zum Berufsalltag und soll Entspannung bieten. Der Markt im Bereich der Kochfelder ist stark umkämpft. Deshalb ist es wichtig, dass neue Lösungen frühzeitig erkannt werden. Die V-ZUG AG ist im Rahmen dieser Arbeit auf der Suche nach einer komplett neuartigen Lösung, welche sich in Design, Bedienung und Luftführung von allen bisherigen Lösungen unterscheidet. Dabei soll eine Klappe den Dunstabzug bei einer Nichtbenützung abdecken und so ein zeitloses Design darstellen. Die Klappe darf dabei die Funktion des Dunstabzugs nicht einschränken und muss die Bedürfnisse der Kunden erfüllen.

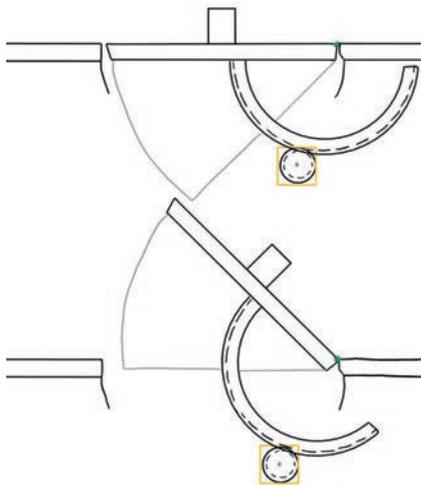


Abb. 1: Konzeptskizze Zahnrad

Vorgehen

Als Basis dieser Arbeit diente eine Konkurrenzanalyse. Zudem wurden die relevanten Kundenbedürfnisse definiert. Daraus konnte ein umfangreicher Anforderungskatalog erstellt werden. Mit diesem Katalog wurden unterschiedliche Konzepte (Abb. 1) entwickelt, welche mit einer Nutzwert- und Sensitivitätsanalyse gemeinsam mit Stakeholdern ausgewertet wurden. Die Konzepte mit den besten Bewertungen konnten anschliessend in einem Funktionsmuster (Abb. 3) erarbeitet werden. Mit diesem Funktionsmuster konnten Tests durchgeführt und Feedback eingeholt werden. Das Funktionsmuster wurde untersucht und seine Abweichungen zu einer realen Umsetzung definiert.

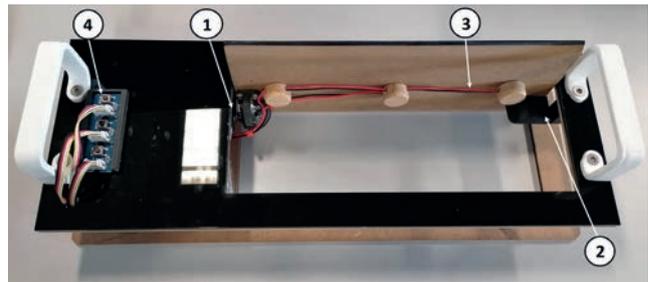


Abb. 2: Funktionsmuster Servomotor
Servomotor (1), Scharnier (2), Verkabelung (3), Button (4)

Ergebnis

Aus neun Lösungskonzepten wurden zwei Konzepte gewählt, welche in einem Funktionsmuster umgesetzt wurden. Beim ersten Konzept wird die Klappe mittels einem Schrittmotor über ein Zahnrad angetrieben. Das zweite Konzept treibt die Klappe direkt mit einem Servomotor an (Abb. 2). Mit dem Programmieren eines Arduinos wird die Klappe durch Pressen der Buttons (4) in die unterschiedlichen Positionen bewegt. Das Funktionsmuster zeigt die Positionierung der Drehknebel, des Servomotors (1) und des verwendeten Scharniers (2). Zudem wird die Verkabelung (3) der Drehknebel gezeigt. Die notwendigen Verbesserungspunkte des FUMUs für eine Umsetzung werden eruiert. Daraus resultierend wird der V-ZUG AG eine Handlungsempfehlung abgegeben.



Abb. 3: Komplettes Funktionsmuster
mit zwei unterschiedlichen Konzepten



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Mangold Samuel
Prof. Dr. Lodewyks Johann
ABNOX AG
Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung eines optimierten Materialdruckreglers

Ausgangslage

Die ABNOX AG entwickelt im Bereich Schmier-, Dosier- und Hochdrucktechnik Gesamtlösungen, die spezifisch an die Bedürfnisse ihrer Kunden angepasst werden. Im Bereich der Dosiertechnik ist ein immer gleichbleibender Auftrag des Schmierstoffes auf das zu schmierende Bauteil das Ziel. Dazu wird bei der ABNOX AG ein gesamtes Schmiersystem angeboten. Eine solche Dosieranlage besteht grundsätzlich aus einer Fördereinheit (Kolbenpumpe), Hydraulikschläuchen oder Rohrleitungen, einem oder mehreren Verbrauchern (Ventile) und einer Steuerung. Zusätzlich ist es empfehlenswert einen Materialdruckregler einzubauen.



Abb. 1: Schmierstoffdosierung mit zeitgesteuertem Ventil

Aufgrund der immer höheren Anforderungen seitens der Kunden in Bezug auf die Prozesssicherheit im Bereich der Dosiertechnik, hat man entschieden den bisherigen Materialdruckregler zu verbessern. Die Aufgabe eines Materialdruckreglers ist es, den von der Pumpe erzeugten Druck auf einen niedrigeren, möglichst konstanten Arbeitsdruck zu reduzieren. Vor allem beim Applizieren von Schmierstoffen mit zeitgesteuerten Ventilen führen Druckschwankungen zu einer ungleichmässigen Dosierung (Abb. 1).

Vorgehen

Zum Projektstart wurden die zu erreichenden Anforderungen an die Optimierung festgehalten. In einem iterativen Entwicklungsprozess hat man den bestehenden Materialdruckregler ausgemessen und in seinem

mechanischen Aufbau optimiert. Dazu hat man verschiedene Konzepte anhand der Erkenntnisse aus den Messungen erstellt. Unter Abwägung der technischen und wirtschaftlichen Anforderungen hat man sich für ein Konzept entschieden. Das Konzept wurde ausgearbeitet. Anschliessend wurden die optimierten Ergebnisse anhand von Messungen validiert.



Abb. 2: Optimierter Materialdruckregler-Prototyp

Ergebnis

Es wurde der nachfolgende optimierte Materialdruckregler-Prototyp gefertigt (Abb. 2).

Die Messungen haben ein insgesamt besseres Resultat als beim bestehenden Materialdruckregler gezeigt (Abb. 3). Die Optimierung konnte alle gestellten Anforderungen erfüllen.

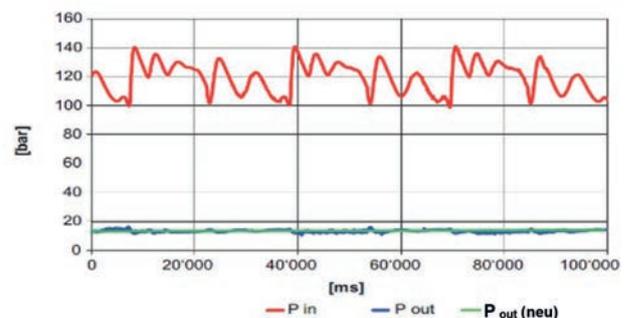


Abb. 3: Druckverläufe vor und nach dem Materialdruckregler



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Müller Ken
Dipl. Ing. ETH De Angelis Marco
Swissrehamed GmbH
Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Produktentwicklung & Mechatronik

Herstellung und erste Testversuche eines neuen Konzeptes des Reha-Aquabikes

Ausgangslage

Die Swissrehamed GmbH arbeitet an einem Prototyp für eine Durchführung einer klinischen Studie von MS (Multiple Sklerose) Patienten. Dabei handelt es sich um ein Wassertrainingsgerät (Abb. 1). Die Sitzposition und Beinbewegung gleicht einem Liegerad. Kombiniert wird diese Funktion mit einem Armtraining, das wie bei einem Crosstrainer mit Armstangen durchgeführt wird. Der aktuelle Prototyp wird auf dem Poolboden in der Mitte des Pools platziert. Der MS-Patient muss den Pool betreten, zum Aquabike schwimmen und sich dann mit Hilfe eines Therapeuten auf das Aquabike setzen. Dieses Einstiegskonzept wurde von erfahrenen Ärzten als zu schwierig beurteilt und wurde nicht genehmigt. Das neue Konzept muss einen einfacheren Einstieg resp. Ausstieg ermöglichen. In einer vorherigen Industriearbeit wird das Gesamt- und Einstiegskonzept beschrieben. Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, ein neues Konzept für den Einstieg des Aquabikes zu konstruieren und zu entwickeln, um erste Eindrücke von Therapeuten, Ärzten und vom Industriepartner zu gewinnen.



Abb. 1: Prototyp des Aquabikes: Mit zwei vorderen Profilstützen (1), einer hinteren Profilstütze (2), Crosstrainer(3), Pedalen(4), HMI (5) und Sitz (6)

Vorgehen

Nach Aktualisierung des Einstiegs- und Gesamtkonzeptes und der Lösungsfindung erfolgte die Ausarbeitung eines Lösungskonzeptes des Sitzes. Ziel der Prototypenkonstruktion war eine einfache Produktion des Aquabikes und niedrige Kosten. Die Auswahl der Linearführung, der Schwimmkörper und der Kunststoffpolster wurden mit Lieferanten besprochen und bestellt. Nach dem Zusammenbau wurde das Rehabilitationsgerät nach Valens transportiert, wo die ersten Wassertests durchgeführt und den Ärzten das Konzept vorgestellt wurde. Nach dem Testen wurden die Verbesserungsvorschläge verschiedener Prozesse aufgenommen und dokumentiert. Als letztes wurden die ersten Verbesserungen im CAD vorgenommen.

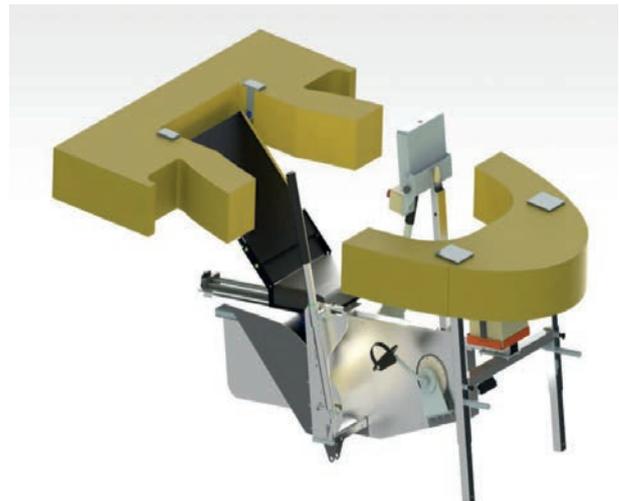


Abb. 2: Prototyp des neuen Konzeptes:
Mit zwei Schwimmkörpern

Ergebnis

Das neue Konzept (Abb. 2) mit dem Rampendesign und dem Einstieg von hinten wurde von den Ärzten angenommen. Die Verwendung von Schwimmkörpern akzeptieren sie ebenfalls. Der Testversuch in Valens brachte viele neue Erkenntnisse. Der Transport des Aquabikes von der Werkstatt bis in den Pool deckte Schwierigkeiten bei der Handhabung, Wasserung, Entwasserung und Training des Aquabikes auf.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Nietlispach Ivo
Prof. Dr. Kamps Rolf
STOBAG
Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Produktenwicklung & Mechatronik

Konzeptvorschlag für Beleuchtung und elektrischen Volantantrieb einer Markise

Ausgangslage

In Muri ist STOBAG eine eingeseessene Firma, welche verschiedenste Beschattungssysteme herstellt. In dieser Branche ist STOBAG weit über die Landesgrenze hinaus als innovativer Qualitätshersteller bekannt. Dies zeigt sich durch Premiumprodukte, wie zum Beispiel die Teleskoparm- und Gelenkarmmarkisen. Um diese Marktposition zu festigen, wurden die Teleskop- und Gelenkarmmarkisen in dieser Arbeit weiterentwickelt. Dabei soll der Volant, eine zusätzliche Abschattung für die Abendsonne, auf Knopfdruck ein- und ausfahrbar sein. Bei bestehenden Markisen wird dies mit einem 230 V Kabel über die Gelenkarme umgesetzt. Neu soll dies aus Langlebigkeits- und Sicherheitsgründen kabellos gelöst werden. Zusätzlich soll eine kabellose Beleuchtung im Markisenbereich entwickelt werden.

Vorgehen

Zwei unterschiedliche Lösungsansätze wurden in dieser Arbeit untersucht. Einmal wird die elektrische Energie bis zum Antrieb vorne in der Markise übertragen. Die Energieversorgung erfolgt somit über die Markisenprofile, Antrieb und Beleuchtung sind vorne in der Markise untergebracht. Alternativ dazu wurde ein Konzept entwickelt, in dem die elektrische Energie nur bis zur Wandbefestigung übertragen wird. Dann wird die Volantbewegung mechanisch bis nach vorne gebracht. Die Beleuchtung erfolgt über LED-Lichteinheiten mit Umlenkspiegeln. Wettbewerbsanalysen und Patentrecherchen wurden bei der Lösungsfindung berücksichtigt.

Ergebnis

Als Ergebnis wurde ein Konzept einer Beleuchtung und je ein Konzept des Volantantriebs für die Gelenkarm- und Teleskoparmmarkise entwickelt. Beide Konzepte des Volantantriebs beinhalten einen Seilzug, welcher den Volant antreibt.

Das Konzept der Beleuchtung beinhaltet Hochleistungs-LEDs, welche durch geeignete Linsen und Umlenkreflektoren den Platz unter der Markise ausleuchten können. Zusätzlich wurde eine mögliche Projektion eines frei wählbaren Logos auf den Stoff des Volants vorgestellt.

Die genannten Konzepte wurden in einem Modell dem Industriepartner vorgestellt.

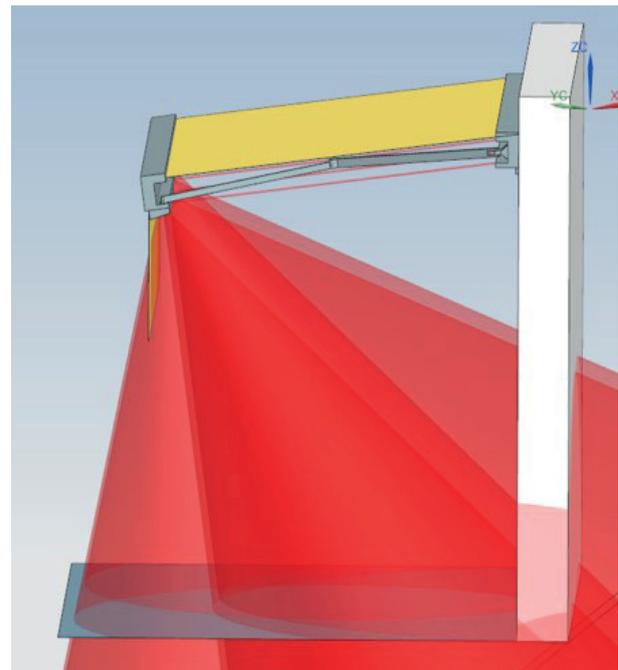


Abb. 1: Konzept Vorplatzbeleuchtung

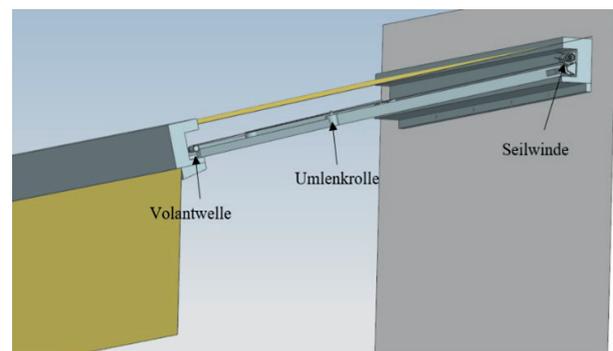


Abb. 2: Konzept Seilzug



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Rieble Joel
Dipl. Ing. ETH De Angelis Marco
NyDee GmbH
Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Produktentwicklung & Mechatronik**

Schnellkupplung Feindrahtlitze

Ausgangslage

Für ein neuartiges Gerät wird eine Schnellkupplung zwischen einem dünnen Drahtseil und einer ortsfesten Verankerung benötigt. Die Herausforderung besteht darin, eine Verbindung zur Übertragung von Seilkräften aus unterschiedlichen Richtungen zu konzipieren, die in wenigen Sekunden zuverlässig entsteht – und nach der Nutzung genauso schnell gelöst werden kann. Neben dem zeitlichen Aspekt soll der Verbindungsaufbau aus einer Entfernung von drei Meter machbar und benutzerfreundlich in der Bedienung sein.

Vorgehen

Nach ausführlicher Analyse der Rahmenbedingungen erfolgte die systematische Lösungsfindung für die definierten Teilfunktionen und die Erarbeitung verschiedener Konzepte. Nebst der Entwicklung mit Stift und Papier wurden gleichzeitig Funktionsmuster im 3D-Drucker realisiert. Die Lösungsvarianten wurden nebst funktionalen auch nach den wirtschaftlichen Aspekten bewertet. Dabei stellte sich das Konzept mit einem integrierten Magnet im Seilstück als beste Lösung heraus. In einem iterativen Prozess wird das Konzept weiter getestet und optimiert (Abb. 1). Verschiedene Fertigungstechnologien wurden verglichen, wobei diese massgeblich von der benötigten Stückzahl abhängig sein wird.



Abb. 1: Versionsverlauf von Magnet-Konzept

Ergebnis

Im finalen Entwurf wird in der Basis ein Stahleinsatz verbaut, der das magnetische Seilstück automatisch in die Verankerung zieht, sobald dieses eingeschoben wird (Abb. 2).

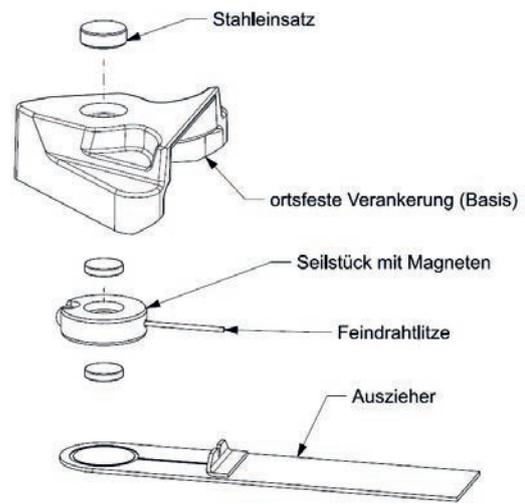
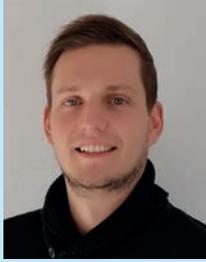


Abb. 2: Komponenten Schnellkupplung

Der Kupplungsprozess kann mit Hilfe des Ausziehers oder von Hand durchgeführt werden. Mit der Verwendung von Acrylglas weist die Schnellkupplung eine gute Witterungsbeständigkeit auf und wirkt optisch unauffällig (Abb. 3). Basierend auf den Offerten verschiedener Hersteller wurden die Herstellkosten analysiert.



Abb. 3: Visualisierung Schnellkupplung



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Roth Dominik
Prof. Baumann Ralf
Hager AG
Dipl. Ing. ETH Bucher Beat
Produktentwicklung & Mechatronik**

FEM Simulation neuer Eckverbinder für Elektroschränke

Ausgangslage

Die Firma Hager Schweiz AG bietet Lösungen in den Bereichen Energieverteilung, Leitungsführung, Schalter und Steckdosen sowie Gebäudeautomatisierung an. Bestandteil des Produktportfolios sind unter anderem auch Elektroschranksysteme. Basierend auf dem Hager Elektro-Schrank MES wurde das Energieverteilsystem «unimes H» entwickelt. Das Grundgerüst eines solchen Schrankes besteht aus vier Stützen sowie je vier Breiten- und Tiefenverbinder. Verbunden werden die insgesamt zwölf Stahlprofile durch acht Eckstücke aus Aluminiumdruckguss. Diese Eckverbinder sollen zukünftig aus langfaserverstärktem Polyamid hergestellt werden. Ziel dieser Bachelorthesis ist ein Proof-of-Concept des neuen Kunststoffeckverbinders zu erstellen. Dabei soll besonderes Augenmerk auf die Befestigung der Profile am Eckstück, sowie auf die internen Schnappverbindungen gelegt werden.

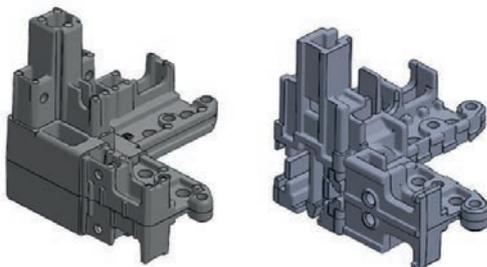


Abb. 1: Eckverbinder aus Aluminiumdruckguss links, Eckverbinder aus Kunststoff rechts

Vorgehen

Es wird ein Lastfall «Transport» simuliert, in welchem das Schrankgestell angehoben wird. Zur Berechnung dient eine statische FEM Analyse. In einem weiteren Schritt kommt die Submodelltechnik zum Einsatz, welche es möglich macht, einen spezifischen Bereich des Grundgerüsts genauer zu betrachten, wie in Abb. 2 zu sehen ist. So entsteht ein detailliertes Submodell des Eckverbinders, welches als Randbedingungen die Informationen des belasteten Gesamtmodells enthält. Durch die Komplexität der Geometrien ist die Erstellung

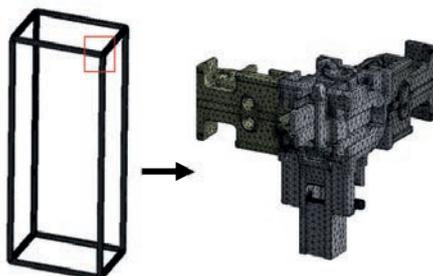


Abb. 2: Einsatz von Submodelltechnik

einer geeigneten Netzstruktur erschwert, zudem ist die Berechnungszeit stark erhöht. Mittels geeigneter Vereinfachungen an den Bauteilen wird das Modell für die Simulation angepasst. An diesem Modell sind nun die entstehenden Hauptspannungen ausgewertet worden, um Aussagen zu einem möglichen Einsatz machen zu können.

Ergebnis

Die Auswertung der Hauptspannungen zeigt auf, dass durch geometrische Änderungen einiger spannungserhöhter Bereiche die Werkstücke optimiert werden können. Dies wird in Abb. 3 beispielhaft gezeigt. So sind Spannungsreduktionen von bis zu 15 % - 25 % an einigen Stellen möglich (siehe Abb. 4).

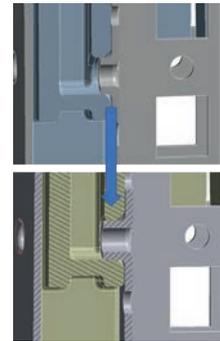


Abb. 3: Erhöhung der Auflagefläche

Im Vergleich mit der maximalen Bruchspannung von 230 MPa des eingesetzten Materials ist so eine eineinhalbfache Sicherheit gegen Bruch zu erzielen.

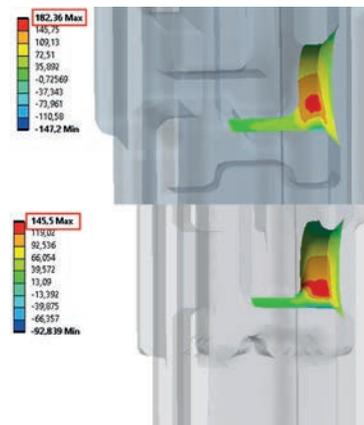


Abb. 4: Spannungsreduktion nach Erhöhung Auflagefläche



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Schmid Lukas
Prof. Dr. Wellig Beat
Narida AG
Dr. Grüniger Andrea
Energien, Fluide und Prozesse**

Narida AG: Energie-Optimierung mittels Pinch-Analyse

Ausgangslage

Die Narida AG (Abb. 1) stellt Getreideriegel in vielen verschiedenen Varianten her (Abb. 2). Für die Produktion werden jährlich rund 2 GWh Strom, 1,4 GWh Wärme und 55'000 m³ Wasser für die Kühlung benötigt. Die Wärme wird zum einen zur Gebäudeheizung und zur Brauchwarmwasseraufbereitung benötigt und mit einem Ölkessel bereitgestellt. Zum anderen wird die Zuckeraufbereitung mit einem ölbefeuerten Dampfkessel bei 12 bar (a) betrieben. Ein Grossteil des Heizbedarfs wird für die Heizung des Altbaus benötigt, welcher in den kommenden Jahren durch einen Neubau ersetzt wird. Bevor die Getreideriegel in handgerechte Stücke geschnitten werden können, müssen diese in Kühl tunnels gekühlt werden. Rund die Hälfte der Riegel werden auf 120 °C angebacken. Diese müssen zusätzlich vor den Verpackungsanlagen gekühlt werden. Für die Kühlung werden 15 dezentrale Kältemaschinen eingesetzt. Die Infrastrukturanlagen haben ihre Lebensdauer erreicht und müssen ersetzt werden. Das Ziel der Narida AG ist, ein Energieversorgungskonzept ohne fossile Energieträger zu planen und umzusetzen.



Abb. 1: Firmengebäude der Narida AG im ländlichen Lanzenhäusern

Vorgehen

Mit Hilfe der Pinch-Analyse sollen Effizienzsteigerungsmaßnahmen sowie Konzepte für eine fossilsfreie Kälte- und Wärmeversorgung erarbeitet und technisch-wirtschaftlich bewertet werden. Zu diesem Zweck wird in einer ersten Phase der Ist-Zustand erfasst. Dazu werden die Heiz- und Kühlbedürfnisse der Prozesse durch Bilanzierungen und wo nötig mit Messungen erfasst. In einer zweiten Phase werden die effektiv erforderlichen Prozessanforderungen aufgezeigt und in der PinCH-Software analysiert. In der dritten Phase werden aus den Ergebnissen der Pinch-Analyse geeignete Massnahmen und Energieversorgungskonzepte abgeleitet. Schliesslich wird eine Handlungsempfehlung abgegeben, welche es den Entscheidungsträgern ermöglicht, ihre zukünftige Energiestrategie bestmöglich umzusetzen.

Ergebnis

Das neue Kälteanlagen-/Wärmepumpen-Konzept mit zwei Ammoniak-Kälteanlagen und einem Eisspeicher ermöglicht, die Gebäudeheizung vollständig mit der Abwärme der



Abb. 2: Produktpalette der Narida AG

Kälteerzeugung zu versorgen (Abb. 3). Durch diese Massnahmen können nicht nur 120'000 Liter Heizöl eingespart werden, sondern auch 318 Tonnen CO₂ und 100'000 Franken. Pro Jahr! Der Strombedarf erhöht sich dabei nicht. Mit einer zusätzlichen PV-Anlage auf dem Dach der Produktionshalle kann rund ein Viertel der benötigten elektrischen Energie selber produziert werden.

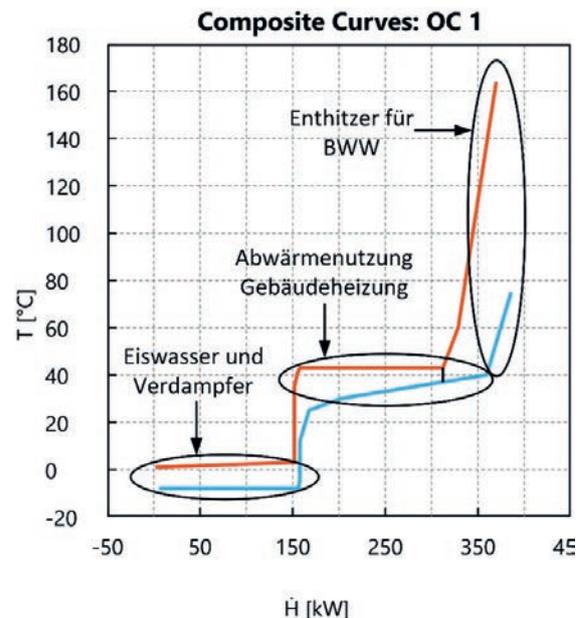


Abb. 3: Composite Curve vom Betriebsfall Winter. Durch die optimale Integration einer zentralen Ammoniak-Kälteanlage kann der gesamte Heizbedarf aus der Abwärme gedeckt werden



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Schmid Thomas
Prof. Dr. Székely Gerhard Stefan
ARIS
Dipl. Ing. ETH Schüngel Paul Joachim
Produktentwicklung & Mechatronik

Einfahrbare Launch Lugs für Forschungsraketen

Ausgangslage

Die Akademische Raumfahrt Initiative Schweiz, auch ARIS genannt, ist ein gemeinnütziger Verein, der von Studierenden der ETH Zürich, HSLU und ZHAW initiiert und geleitet wird. Sie entwickeln und bauen Höhenforschungsraketen mit dem Ziel, bis 2024 den Spaceport America Cup in der höchsten Kategorie zu gewinnen. Aufgrund ihrer Größe sind diese Raketen auf Startrampen angewiesen, in welchen sie mit so genannten Launch Lugs geführt werden. Bislang wurden die Launch Lugs an der Raketenaussenfläche befestigt und haben während des Flugs Luftreibungswiderstand verursacht. Zur Beseitigung dieser Verluste soll im Rahmen dieser Bachelorthesis ein Mechanismus entwickelt werden, der es ermöglicht, die Launch Lugs nach dem Start einzufahren.

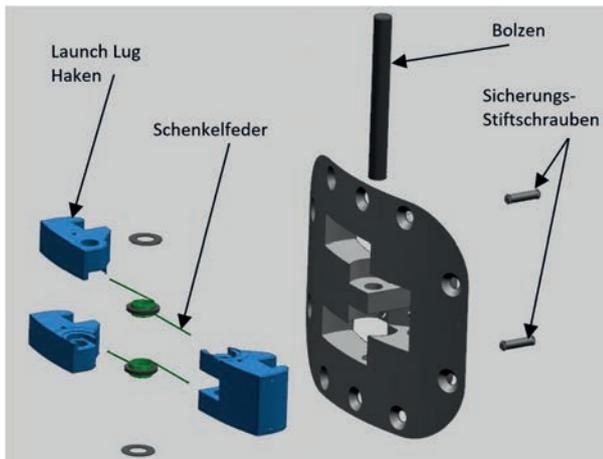


Abb. 1: Explosionsansicht des Launch Lug Systems

Vorgehen

Die Arbeit unterteilt sich in vier Phasen: Analyse, Konzeptstudie, Konstruktionsentwurf und Realisierung. Nach der Analyse der Aufgabenstellung und der Definition der Anforderungen werden Konzeptideen erkundet. Ziel ist es, ein Mechanismus zu finden, der möglichst klein und leicht ist. Weiter soll die Betätigung rein mechanisch ausgelöst werden.

Im nächsten Schritt wird ein detaillierter Konstruktionsentwurf des besten Konzepts erstellt (siehe Abb. 1). Dabei wird die Konstruktion durch die kleine Dimension der Führungsnut in der Startrampe stark eingeschränkt. Um die Anforderung an die Belastung zu erfüllen, werden Festigkeitsberechnungen durchgeführt und Optimierungen vorgenommen. Im Anschluss wird das resultierende Gesamtsystem als Prototyp realisiert.

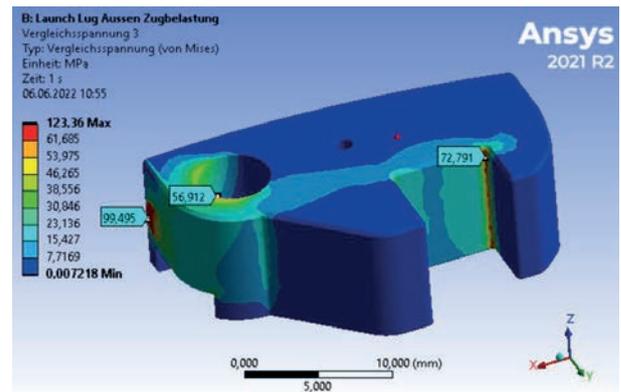


Abb. 2: Spannungsanalyse der Zugbelastung

Ergebnis

Mit dem Prototyp (siehe Abb. 3) werden an einem Rail Funktionstests durchgeführt. Einerseits wird der Mechanismus auf die Funktionalität und allfällige Mängel geprüft. Andererseits wird mit einer Messung die Reibung im Rail untersucht.

Diese Tests haben gezeigt, dass der Mechanismus einwandfrei funktioniert und das Launch Lug direkt nach dem Verlassen des Rails einfährt. Die Reibungsmessung hat die Berechnung bestätigt, dass die Reibkraft mit 2,1 N, im Verhältnis zur Nennschubkraft der Rakete von 6'000 N, vernachlässigbar ist.



Abb. 3: Prototyp der einfahrbaren Launch Lugs



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Schmidiger Jerome
Dr. Deniz Sabri
Institut IME, CC FNUM
Dr. Schlienger Joel
Energien, Fluide und Prozesse

Identifikation der wesentlichen Diffuser-Design-Parameter und deren Einfluss auf das Betriebsverhalten eines Radialverdichters

Ausgangslage

Diffusoren erweisen sich als wichtige Komponenten in der Strömungsmechanik. Auch in Turbomaschinen - wie Radialverdichter oder Gasturbinen - spielen diese eine wichtige Rolle, da sie einerseits den Gesamtwirkungsgrad verbessern und andererseits das Druckverhältnis erhöhen. Jedoch ist die Auslegung von Diffusoren in Turbomaschinen stets mit Schwierigkeiten verbunden.

Vorgehen

Wesentliche Diffuser-Design-Parameter werden identifiziert und deren Einfluss auf das Betriebsverhalten aufgezeigt. Weiter wird eine numerisch optimierte Diffusergeometrie (erzeugt durch eine gradienten-basierte Adjoint Methode) vereinfacht und numerisch untersucht (Abb. 2). Dabei wurde der Reynolds-Average-Navier-Stoke Ansatz, sowie ein Ω -RSM Turbulenzmodell verwendet und wurde mit einem von der Hochschule Luzern entwickelten druckbasierten Solver durchgeführt.

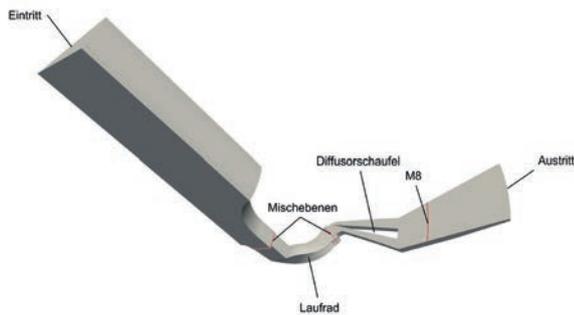


Abb. 1: Aufbau des verwendeten Simulationsmodells

Ergebnis

Es wurde gezeigt, dass die Wahl der wesentlichen Diffuser-Design-Parameter einen Kompromiss zwischen Betriebsbereichsgewinn und Druckerhöhung / Wirkungsgradgewinn darstellt. Nebst den mathematischen Abhängigkeiten im Diffusorkanal (Öffnungswinkel, Diffusorlänge und Flächenverhältnis) haben sich weitere Zusammenhänge gezeigt. So ist beispielsweise der Diffusoreintrittsradius, die Eintrittsweite, der Anstellwinkel und die Schaukelzahl voneinander abhängig und müssen stets aufeinander abgestimmt sein. Weiter hat sich herausgestellt, dass sich die Theorie ebener Kanaldiffusoren nicht direkt an Turbomaschinen anwenden lässt und somit ausschliesslich zur groben Auslegung verwendet werden darf.

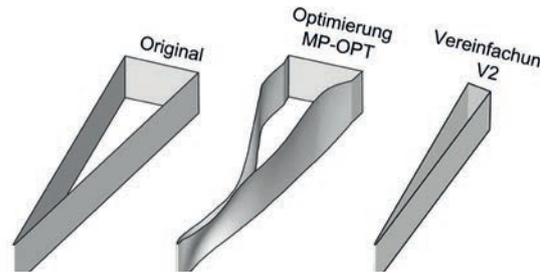


Abb. 2: Vergleich zwischen der original, der optimierten und der vereinfachten Geometrie

Die Vereinfachung des numerisch optimierten Keildiffusors erreichte einerseits höhere Druckverhältnisse und Wirkungsgrade führte aber andererseits zu früher eintretenden instabilen Verhalten (pumpengrenznaher Bereich siehe Abb. 3). Trotz der sehenswerten Wirkungsgradssteigerung und Druckerhöhung der vereinfachten Geometrie (V2) - im mittleren und stopfgrenznahen Kennbereich (knapp 1.5 % höher, verglichen mit der Originalgeometrie) - und der starken Korrelation mit dem Betriebsverhalten der numerisch optimierten Geometrie, scheint eine dreidimensionale Modifikation der Keilgeometrie als unverzichtbar.

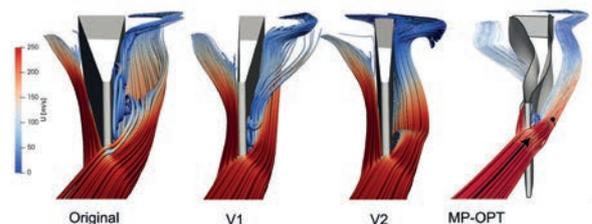
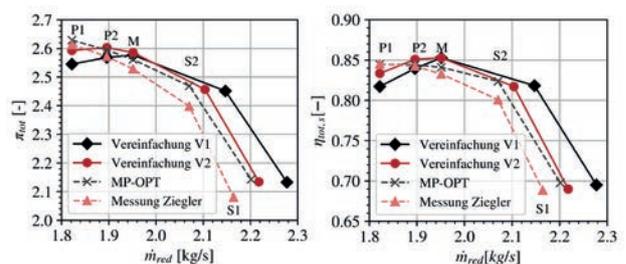


Abb. 3: Kennlinienvergleich (oben) und das Ablöseverhalten im stopfgrenznahen Bereich (unten)



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Schuler Mathias
Prof. Bärtsch René
V-ZUG AG
Dipl. Ing. ETH Knodel Thomas
Produktentwicklung & Mechatronik

Minderung akustischer und struktureller Schwingungen in Haushaltsgeräten mittels vibroakustischer Metamaterialien

Ausgangslage

Die V-ZUG AG ist als Hersteller von Haushaltsgeräten bekannt für innovative Premium-Produkte mit höchsten Qualitätsansprüchen. Bei der Entwicklung dieser Geräte steht dabei nebst dem Kundennutzen auch immer mehr das Design im Vordergrund. In einem Neuentwicklungsprojekt für Waschautomaten und Wäschetrockner besteht daher der Wunsch nach einer möglichst sickenfreien Seitenwand. Diese Arbeit untersucht, ob und inwiefern vibroakustische Metamaterialien (VAMM) eine Möglichkeit für die V-ZUG AG bieten, die akustischen und strukturellen Schwingungen eines Bauteils zu mindern. Die Untersuchungen werden anhand von diesem möglichen Anwendungsfall der Seitenwand durchgeführt.

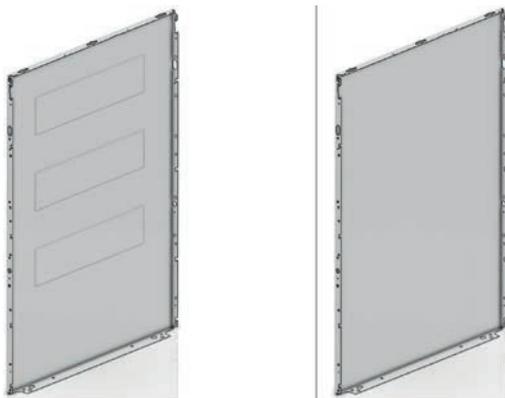


Abb. 1: Seitenwand Waschautomaten und Wäschetrockner mit und ohne Sicken

Vorgehen

Die Arbeit beinhaltet eine Recherche zum Stand der Technik, der Wirkungsweise und Anwendung von VAMM. Anschliessend werden die grundlegenden dynamischen Eigenschaften der Seitenwand mit und ohne Sicken mittels experimentellen Modalanalysen untersucht. Mit einem abstrakten Simulationsmodell wird dann mit numerischen Modal und harmonischen Analysen das VAMM gezielt auf die Frequenzen ausgelegt, bei denen die Seitenwand aufgrund der Anregung durch die Haupt-Aktoren in Resonanz geraten kann. Auf Basis dieser strategischen Auslegung, werden anschliessend mittels Rapid Prototyping Funktionsmuster des VAMM hergestellt und auf einer Seitenwand appliziert. Mit diesen modifizierten Seitenwänden werden dann wiederum experimentelle Modalanalysen durchgeführt und der Einfluss des VAMM untersucht. Um die akustische Wirkung des VAMM am Gerät zu überprüfen, werden Schallmessungen an einer Waschmaschine durchgeführt, bei der beide Seitenwände mit VAMM ausgestattet sind.



Abb. 2: Waschautomat mit VAMM ausgelegt auf 300 Hz

Ergebnis

Mit der Auslegung des VAMM auf eine Frequenz von 30 Hz – wo die erste Resonanzfrequenz der Seitenwand liegt und was in etwa der Trommeldrehzahl beim Schleudern entspricht – wird die Beschleunigungsamplitude der Seitenwand um mehr als 75 % reduziert (Abb. 3). Mit einer Auslegung auf 300 Hz – wo der Schallpegel der Maschine sein Maximum hat – wird diese um bis zu 25 % reduziert. Die Reduktion des Gesamtschallpegels bleibt trotz dieser deutlichen Minderung der Vibrationen an der Seitenwand < 1 dB. Weitere Schallmessungen zeigen, dass der «Lärm» primär aus dem Inneren des Gerätes kommt und durch die Luftspalten im Gestell – und nicht wie zunächst angenommen über die Vibrationen der Seitenwand – an die Umgebung gelangt.

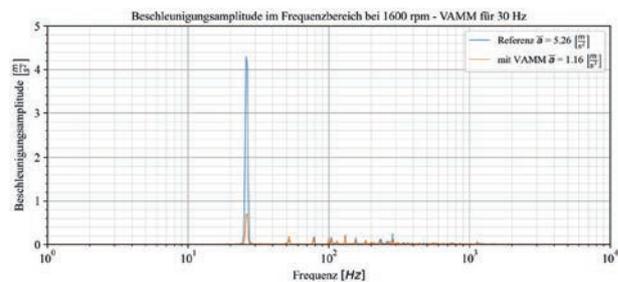


Abb. 3: Beschleunigungsamplitude der Seitenwand ohne VAMM (Referenz) und mit VAMM während dem Endschleudern zeigt Reduktion von ca. 75 % im adressierten Frequenzbereich



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Stähli Lukas Helmut
Prof. Dr. Koller Adrian
Micos Engineering GmbH
Dipl. Ing. ETH Schüngel Paul Joachim
Produktentwicklung & Mechatronik

Space Qualification of an Automated Coating Process for Optical Black Bodies

Ausgangslage

In einer vorhergehenden Bachelorarbeit wurde für die Firma Micos Engineering GmbH ein automatisierter Lackierprozess entwickelt. Mit dem genannten Prozess sollen Kalibrationsplatten beschichtet werden, welche zur Kalibrierung von Messgeräten im Weltall eingesetzt werden.

Für den Lackierprozess wurde ein KUKA intelligent industrial work assistant (iiwa) 7 Leichtbauroboter (LBR), ein kollaborativer Roboter, verwendet, welcher mit einem Sprühsystem ausgerüstet wurde.

Ziel ist es, den bereits entwickelten Prozess zu optimieren, und den finalen Prozess mittels diverser Tests zu verifizieren.



Abb. 1: Knickarmroboter iiwa 7 LBR

Vorgehen

Der Prozess und das System, welche in der vorhergehenden Bachelorarbeit entwickelt wurden, wurden über mehrere Beschichtungszyklen analysiert. Basierend auf dieser Analyse wurde das System und der Prozess optimiert.



Abb. 2: Versuchsaufbau

Ergebnis

Am bestehenden System wurden Komponenten optimiert, um die Handhabung durch den Bediener zu vereinfachen. Auch musste es modifiziert werden, um die starke Fluktuation des Farbmassenstroms und ein ständiges Verstopfen der Düse zu verhindern. Das optimierte System generiert über multiple Lackierzyklen einen konstanten Output. Ein formeller Prozess und ein Verifikationsprogramm wurden entworfen.

Folgende Probleme wurden während des Projektes entdeckt und können in weiterführenden Schritten adressiert werden:

- Das System liefert zwar einen konstanten Farbmassenstrom, jedoch variiert die Menge bei unterschiedlichen Durchführungen trotz gleicher Parameter.
- Die Schichtdicke variiert auf Grund der komplexen Werkstückgeometrie stark. Dieses Problem wurde zwar durch Optimierungen am Spraymuster reduziert, jedoch nicht komplett behoben.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Tenisch Samuel
Prof. Dr. Székely Gerhard Stefan
ETH / maxon
Dipl. Ing. ETH Schüngel Paul Joachim
Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung eines Filtrerrads für den Mondrobooter GLIMPSE

Ausgangslage

Weltraumorganisationen weltweit halten den Bau einer Mondbasis für einen möglichen nächsten Schritt für bemannte Weltraummissionen. Da die notwendigen Ressourcen für den Aufbau einer solchen Basis nicht alle von der Erde auf den Mond transportiert werden können, müssen die auf dem Mond vorhandenen Ressourcen mitgenutzt werden. Für die Planung einer Mondbasis müssen daher genaue Kenntnisse über die vorhandenen Ressourcen vorliegen. Die europäische Weltraumorganisation hat im Zusammenhang der Erkundung der Mondoberfläche die Space Resource Challenge initiiert und Unternehmen sowie Forschungseinrichtungen dazu aufgerufen einen Roboter zu entwickeln, mit dem die Oberfläche einer mondanalogen Umgebung analysiert werden kann. Ein Konsortium bestehend aus der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, der Universitäten Zürich und Basel, Maxon, Anybotics und der Hochschule Luzern entwickeln im Rahmen dieser Challenge das Roboterprojekt GLIMPSE. Das auf dem Roboter vorhandene Kameramodul soll im Rahmen dieser Arbeit mit einem optischen Filtrerrad aufgewertet werden, damit mit Hilfe einer kontextbezogenen Bildklassifikation Aussagen zur chemischen Zusammensetzung von Gesteinsbrocken gemacht werden können.

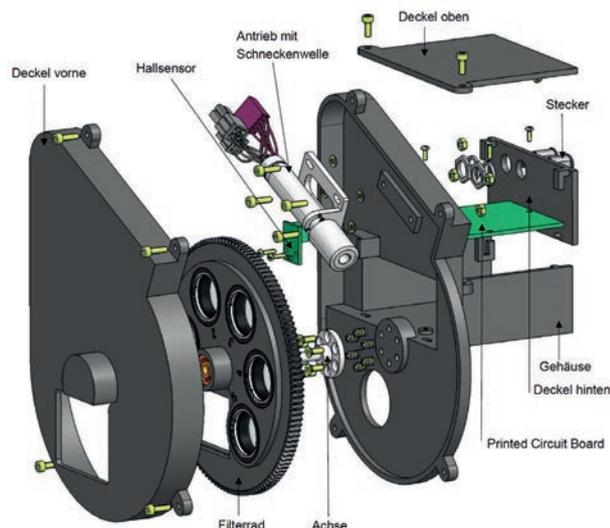


Abb. 1: Explosionszeichnung des Filtrerradsystems

Vorgehen

Für die Entwicklung des Filtrerradsystems wurden die üblichen Methoden der Produktentwicklung angewendet. Es wurden die Anforderungen zusammengetragen, aus denen sich die Aufgabenstellung in mehrere Teilprobleme unterteilen liess. Für diese Teilprobleme wurden jeweils mehrere



Abb. 2: Kameramodul mit montiertem Filtrerrad

Lösungsvarianten gesucht und ausgewertet, welcher Lösungsansatz am geeignetsten ist. Die Ausarbeitung des Lösungskonzept erfolgte mit Hilfe einer CAD-Software. Um die Funktionalität des Systems zu überprüfen, wurde ein Testprogramm erarbeitet, welches mit dem gefertigtem Filtrerradsystem und dem Roboter durchgeführt wurde.

Ergebnis

Es konnte ein Filtrerradsystem (Abb. 1) entwickelt werden, das über fünf optische Bandpassfilter sowie über eine Öffnung für eine ungefilterte Sicht verfügt. Durch die Rotation des Filtrerrads mit Hilfe eines Gleichstrommotors und einem Schneckengetriebe können die Filter vor der Kameralinse platziert werden. Das System lässt sich über wenige Schraubenverbindungen am bestehenden Kameramodul des Roboters montieren (Abb. 2). Die durchgeführten Tests zeigten, dass das Lösungskonzept funktionstauglich ist und die Funktionalität des Roboters (Abb. 3) durch den zusätzlichen Aufbau nicht eingeschränkt werden.



Abb. 3: Roboter mit Filtrerrad



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Theiler Manuel
Prof. Dr. Nussbaumer Thomas
Institut IME, CC TEVT, FG Bioenergie
Dr. Neuenschwander Peter
Energien, Fluide und Prozesse**

PV-Wärmeinseleffekt im urbanen Raum

Ausgangslage

Durch die steigende Anzahl an Hitzetagen in der Schweiz, primär verursacht durch den Klimawandel, wird insbesondere in urbaner Umgebung die Problematik des Wärmeinseleffekts (Urban Heat Island, UHI) verstärkt. Aufgrund der lokalen Veränderung der Oberfläche (Asphaltierung), sowie der Wind-Verschattung und geringer Vegetation steigen dabei die Temperaturen in Städten im Vergleich zum Umland stärker an. Gleichzeitig ist für die Erreichung der Klimaziele ein drastischer Ausbau von PV-Anlagen besonders in urbanen Gebieten, wo die Energie direkt gebraucht wird, geplant. Dieser Umstand führt zu einer signifikanten Modifikation der urbanen Oberfläche. Die Kernfrage dieser Arbeit lautet daher, inwiefern sich ein urbaner Ausbau von PV-Anlagen auf den Wärmeinseleffekt auswirkt.

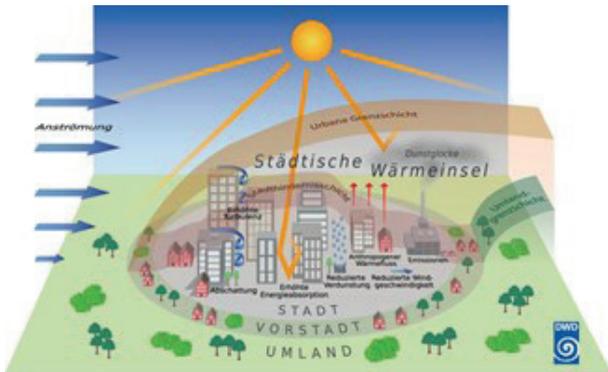


Abb. 1: Veranschaulichung des UHI (Quelle: Deutscher Wetterdienst, 2022)

Vorgehen

Um einen Überblick über die am UHI beteiligten Effekte zu erhalten, wird zunächst eine fundierte Literaturrecherche durchgeführt. Danach wird ein thermisches Modell erstellt, welches die folgenden Effekte berücksichtigt: Reflexion und Absorption an der Oberfläche, Wirkungsgrad, atmosphärische Emission und Emission der PV-Anlage. Die Sensitivitätsanalyse der wichtigsten Variablen dieses Modells ermöglicht eine quantitative Abschätzung des Phänomens. Parallel dazu wird eine Temperatur-Messeinrichtung an der grössten PV-Anlage der Schweiz in Perlen installiert. Ziel dabei ist, Anhaltspunkte über das Verhalten der Wirkung von PV-Anlagen auf den Wärmeinseleffekt (PVHI) im Schweizer Mittelland zu erhalten und eine Tendenz ableiten zu können.

Ergebnis

Die Auswertung des thermischen Modells ergab keine signifikante Temperaturerwärmung verursacht durch PV. Die



Abb. 2: Messeinrichtung auf der PV-Anlage der ALDI in Perlen LU

Abfuhr der elektrischen Energie kompensiert die Reduktion des Reflexionsgrades der Oberfläche. Der Emissionsgradunterschied hat keinen signifikanten Einfluss auf den Wärmeinseleffekt.

Die Temperaturmessungen zeigen eine Tendenz tagsüber, wenn die Sonneneinstrahlung am grössten ist. An einem wolkenlosen, heissen Nachmittag führt die PV-Anlage zu einer Reduktion der Umgebungstemperatur um bis zu 2 K, im Mittel zwischen 6.00 h bis 19.00 h ca. 0.5 K. Nachts wurde kein signifikanter Einfluss auf die Temperatur festgestellt.

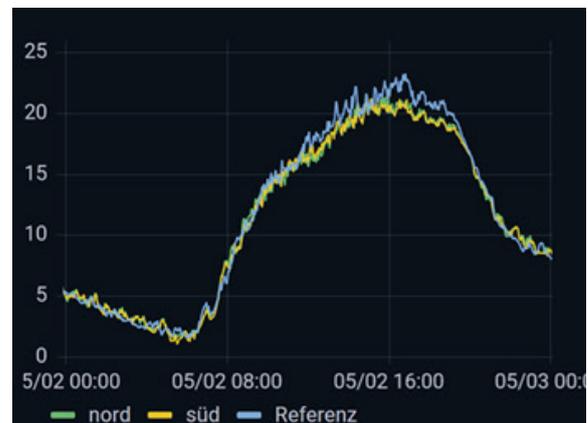


Abb. 3: Messergebnis der drei Messstationen über 24 h



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Thyen Victoria
Prof. Dr. Koller Adrian
kofatec GmbH
Dipl. Ing. ETH Schüngel Paul Joachim
Produktentwicklung & Mechatronik**

Präzise Saatgutablage mit einem Industrieroboter

Ausgangslage

Heutzutage werden die Maiskörner maschinell mit der Einzelkornsätechnik auf einem Feld eingesät. Die Maiskörner werden in einer Vereinzelmaschine vereinzelt und fallen anschliessend ohne Ausrichtung in eine zuvor eingebrachte Saatgrube. Die Saatgrube wird danach wieder mit Erde bedeckt. Nach 1 bis 2 Wochen treibt das Maiskorn aus. Mit dem saatgutorientierten Einsäen der Maiskörner kann der Ernteertrag um 5 bis 15 % gesteigert werden. Zudem kann der Wasserverbrauch und die Verunkrautung reduziert werden. Bisher konnte dieser Nachweis nur auf kleinen Flächen mit Handbepflanzung erbracht werden.

Um agronomisch nachzuweisen, ob sich dieser Effekt auch auf einem Feld mit 0.5 ha durchsetzt, soll das Pflanzen der ausgerichteten Maiskörner maschinell nachgebildet werden. Ein Deltaroboter, welcher an einem mobilen Roboter angebaut ist, soll die Maiskörner in korrekter Orientierung in den Boden setzen (Abb. 1).

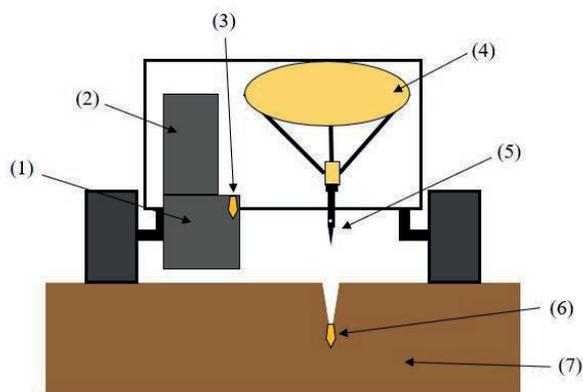


Abb. 1: Möglicher Aufbau des mobilen Roboters mit seinen Teilsystemen: Maiskornzuführung (1), Maiskornvereinzelmachine (2), Maiskornentnahme (3), Deltaroboter (4), Greifer (5), Maiskornabgabe (6), Feld mit Saatgrube (7)

Vorgehen

Zunächst wurden die Eigenschaften und das Verhalten der Maiskörner analysiert. Anhand von vorangegangenen Projekten der kofatec GmbH und zahlreichen Versuchsdurchführungen wurde ein Konzept für das Zuführen der Maiskörner erstellt und umgesetzt. Weiterhin wurde ein Greifer

für das Aufnehmen und Setzen der Maiskörner konzeptioniert und realisiert (Abb. 2). Anschliessend wurden die Verfahrswege des Deltaroboters mit der Software „ROBOGUIDE“ programmiert und die mechatronischen Teilsysteme in die Roboterzelle integriert.

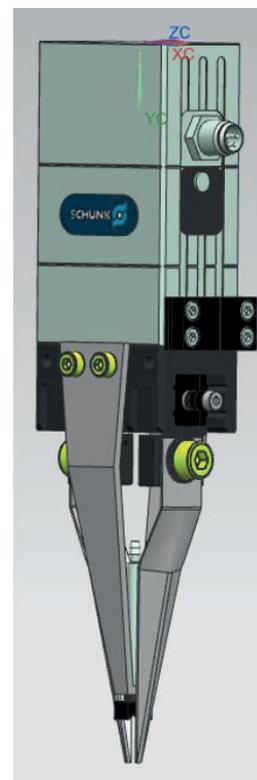


Abb. 2: Konstruktion Greifer

Ergebnis

Mit dem entwickelten Greifer können die Maiskörner unabhängig von ihrer Form ohne eine Veränderung der Ausrichtung in die Saatgrube eingesetzt werden. Eine grosse Herausforderung bietet hingegen die Maiskornzuführung. Aufgrund der Vielfalt der Maiskornformen weist eine mechanische Ausrichtung nur eine geringe Prozesssicherheit auf. Insgesamt bilden die Prototypen eine gute Basis für das maschinelle Nachbilden des saatgutorientierten Einsäens.



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Von Burg Dominic
Prof. Baumann Ralf
Fatzer AG
Dipl. Ing. ETH Bucher Beat
Produktentwicklung & Mechatronik

Nichtlineare Finite-Elemente-Analyse zur Vorformung von Z-Drähten

Ausgangslage

Die Fatzer AG stellt in Romanshorn Drahtseile für Seilbahnen, Seilbau und Spezialanwendungen im Bergbau her. Eine spezielle Gruppe unter den hergestellten Seilen bilden die sogenannten vollverschlossenen Seile (Abb. 1). Diese werden im Wechselschlag mit mehreren Runddrahtlagen und einer oder mehreren Z-Drahtlagen produziert. Um zu verhindern, dass die Drähte im Seilverbund eine zu hohe Eigenspannung aufweisen, werden die Z-Drähte vor dem Verseilen zu einer Helix vorgeformt. Dies geschieht, indem die Drähte durch zwei Rollenpaare gezogen und dabei verdreht und gekrümmt werden. Die Rollenpaare können horizontal sowie vertikal zueinander verschoben und zudem um die Längsachse des Drahtes herum rotiert werden. Über diese drei Parameter kann die Form der Helix beeinflusst werden. Diese wird über die Länge einer Windung und den Durchmesser definiert. Da auch äussere Faktoren wie beispielsweise die Festigkeit des Drahtes die Verformung beeinflussen ist es schwierig, die gewünschte Helix Form mit der gewünschten Reproduzierbarkeit zu fertigen. Um das Zusammenspiel der verschiedenen Parameter besser zu verstehen, soll versucht werden die beschriebene Verformung mit einer FEM-Simulation abzubilden.

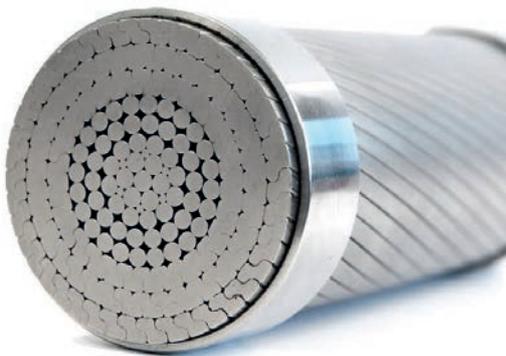


Abb. 1: Vollverschlossenes Spiralseil (Quelle: Fatzer AG)

Vorgehen

Es wird zur Simulation des Vorformungsprozesses ein nicht-lineares, statisch-mechanisches FEM-Modell erstellt. Durch die Idealisierung als quasi-statisches Problem werden dynamische Effekte vernachlässigt. Es kann dafür ein impliziter Solver verwendet werden, welcher sich für die genaue Berechnung der Spannungen und Verformungen insbesondere nach der Rückfederung besser eignet. Es zeigt sich, dass die Simulation des Prozesses sehr sensitiv auf verschiedene Parameter reagiert. Als besonders relevant erweist sich die Beschreibung der Materialeigenschaften, weshalb diese die höchste Aufmerksamkeit bekommt. Die Auswertung der

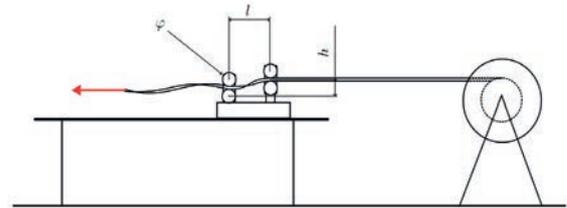


Abb. 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

ersten Simulationsversuche zeigt, dass es während der Umformung im Draht im Wechsel zu Zug- und Druckspannungen kommt. Daher wird ein multilineares, kinematisches Verfestigungsmodell verwendet. Zur Definition der Materialkurve für die multilineare Verfestigung werden Zugversuche an den Z-Drähten durchgeführt. Zur Validierung der Simulation werden die Ergebnisse von acht Konfigurationen der Einstellparameter mit real vorgeformten Drähten verglichen. Diese Drähte werden auf einem Versuchsaufbau verformt, wodurch die Verformung isoliert vom Rest der Verseilung untersucht werden kann (Abb. 2).

Ergebnis

Es konnte gezeigt werden, dass es grundsätzlich möglich ist, die Vorformung der Z-Drähte mit einer FEM-Simulation abzubilden (Abb. 3). Die hohe Sensitivität des Prozesses erschwert eine genaue Validierung der Resultate. Die durchschnittliche Abweichung der Versuche bezogen auf die Simulation beträgt 11.9 % für die Länge und 6.1 % für den Durchmesser der Helix. Für einzelne Konfigurationen beträgt die Abweichung allerdings rund das Zweifache dieser Werte.

Aufgrund der Komplexität der Umformung der Z-Drähte mussten einige Vereinfachungen gemacht und Annahmen getroffen werden. So wurde beispielsweise der Initialzustand des Drahtes vereinfachend als mechanisch isotrop, unverformt und spannungsfrei betrachtet. Daraus ergeben sich interessante Fragestellungen für weitere Arbeiten. Mit den Erkenntnissen aus dieser Arbeit wurde dafür eine gute Grundlage geschaffen.

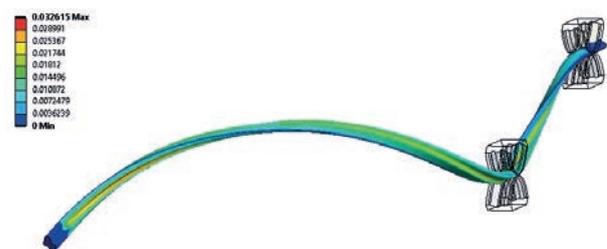


Abb. 3: FEM-Simulation der Vorformung



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Wandeler Jan
Prof. Dr. Koller Adrian
Institut für Medizintechnik IMT
Dipl. Ing. ETH Schüngel Paul Joachim
Produktentwicklung & Mechatronik

Redesign eines kostengünstigen und mobilen Mini-Mikroskops

Ausgangslage

Im HS19 wurde an der HSLU T&A ein Prototyp eines Mini-Mikroskops entwickelt. Besonders an diesem Mikroskop ist der tiefe Kostenaspekt, welcher durch den Einsatz von Consumer-Produkten und Herstellertechnologien wie 3D-Drucken oder Lasercutting erreicht wird. Zudem nimmt das Mini-Mikroskop wenig Platz ein (180 x 136 x 125 mm), so dass es problemlos in einer gewöhnlichen Tasche transportiert und mobil eingesetzt werden kann.

Während sich das Konzept und die daraus resultierende Bildqualität durchaus bewährt hat, gibt es noch zahlreiche Verbesserungsmöglichkeiten, insbesondere betreffend der Benutzerfreundlichkeit.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Optimierungsmöglichkeiten mit dem grössten Potenzial zu eruieren und in einem überarbeiteten Prototyp umzusetzen.

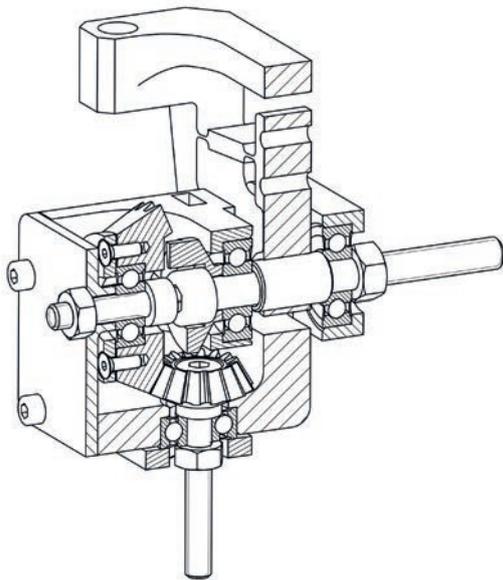


Abb. 1: Kombiniertes Grob- und Feintrieb zur Linsenpositionierung

Vorgehen

Nach der Analyse des Prototyps wurden alle Optimierungsmöglichkeiten zusammengetragen, priorisiert und in einer konkreten Anforderungsliste erfasst. Durch zahlreiche Funktionstests konnten schon viele Teillösungen in einer frühen Projektphase validiert werden. Untersucht wurde unter anderem auch der Einsatz von einem Compliant Mechanismus oder einem kombinierten Grob- und Feintrieb (Abb. 1), welcher durch einen hochpräzisen Antrieb im James Webb Space Telescope (JWST) inspiriert wurde.



Abb. 2: Überarbeiteter Prototyp des Mini-Mikroskops

Ergebnis

Das Resultat ist ein Mini-Mikroskop mit verbesserter Benutzerfreundlichkeit und vielen Zusatzfunktionen (Abb. 2). Insgesamt wurden 17 Verbesserungen eingearbeitet.

Auch die ohnehin schon gute Bildqualität konnte durch eine optimierte Streuscheibe unter der Beleuchtung gesteigert werden. Einige Beispielaufnahmen, welche mit dem finalen Prototyp gemacht wurden, sind in Abb. 3 dargestellt.

Die Gesamtkosten aller eingesetzter Bauteile belaufen sich auf rund 182 CHF. Zudem wurde der Zusammenbau des Produktes durch eine Montageanleitung vereinfacht.

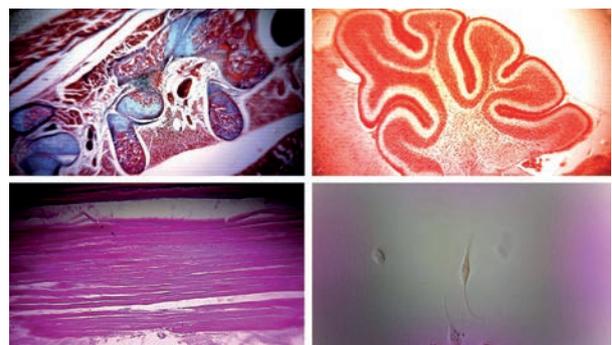


Abb. 3: Mit finalen Prototyp aufgenommene Bilder von biologischen Proben



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Zuber Benjamin
Dipl. Ing. ETH De Angelis Marco
Steeltec AG
Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Produktentwicklung & Mechatronik**

Konzepterarbeitung einer Kühlschmiermittelaufbereitungsanlage

Ausgangslage

Die Firma Steeltec AG produziert unter anderem niedrig legierte Automatenstähle. Zur Qualitätskontrolle ihrer Produkte wird aus jeder Charge eine gewisse Menge an Material entnommen und im betriebsinternen Physiklabor untersucht. Zur Herstellung entsprechender Proben werden vier Trennmaschinen verwendet, deren Trennscheiben während des Betriebs mit Kühlschmiermittel (KSM) gekühlt werden müssen. Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein Konzept für zwei baugleiche KSM-Aufbereitungsanlagen zu erarbeiten, die jeweils zwei Trennmaschinen gleichzeitig mit frischem Kühlschmiermittel versorgen können. Die Minimierung der Schaumbildung, das Abscheiden der Verschleissprodukte (siehe Abb. 1), sowie die Ergonomie bei Wartung und Reinigung stehen dabei im Vordergrund.

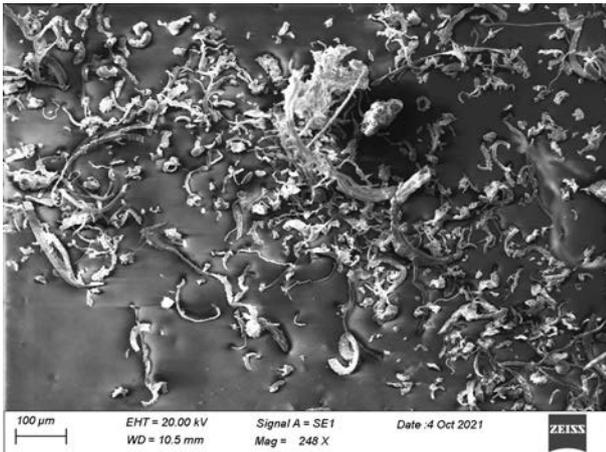


Abb. 1: Metallische Verschleissprodukte unter dem Rasterelektronenmikroskop (248:1)

Vorgehen

Die Arbeit unterteilt sich in die drei Phasen Analysieren, Konzipieren und Entwerfen. Mit Hilfe von Recherchen und diverser Versuche konnten fehlende Informationen und Parameter erarbeitet werden. Einige Beispiele solcher Versuche sind nachfolgend aufgelistet:

- Bestimmung der Korngrößen der Verschleissprodukte mit Hilfe von Siebanalysen und Rasterelektronenmikroskopie (Abb. 1)
- Vergleich verschiedener Additive zur Reduktion der Schaumbildung
- Bestimmung der KSM-Volumenströme
- Berechnung der mittleren Wärmeströme anhand gemessener Temperaturverläufe (Abb. 2)
- Kalibrierung des Handrefraktometers und Überprüfung der verwendeten KSM-Dosieranlage

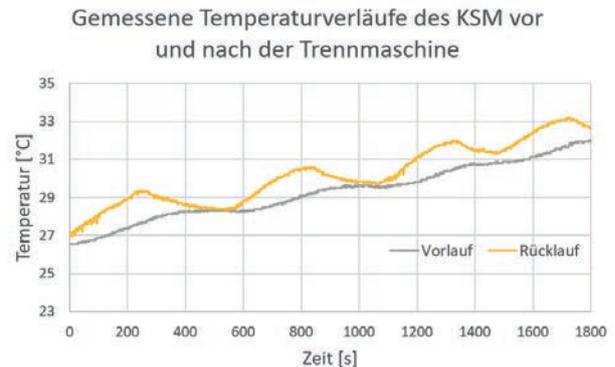


Abb. 2: Während des Betriebs gemessene KSM-Temperaturverläufe zur Berechnung des mittleren Wärmeströms

Die zentralen Bestandteile der Arbeit lagen in der Abschätzung des min. erforderlichen Tankvolumens, der Auswahl des Filtersystems, der 3D-Modellierung der Anlage sowie der Elektroplanung und der Programmierung der Siemens LOGO Steuerung.

Ergebnis

Das KSM wird aufgrund der vorwiegend magnetischen Verschleissprodukte mit einem Magnetfilter gereinigt. Die Steuerung sorgt dafür, dass der Filter dann in Betrieb ist, wenn von mindestens einer der beiden Trennmaschinen KSM in den Tank zurückfließt. Anhand von energetischen Bilanzierungen konnte ein min. Tankvolumen von 174 l iteriert werden. Eine Übersicht über die Anlage gibt Abb. 3.



Abb. 3: Rendering der Baugruppe mit (1) KSM-Tank, (2) Auffangbehälter für die Späne, (3) Permanentmagnetfilter, (4) Klappenmechanismus zur Erfassung der Fluidströme, (5) Halterung für die Pumpen

Master-Theses



Diplomand
Dozent

Projektpartner
Experte
Themengebiet

Aeschlimann Lukas F.
Prof. Dr. Székely Gerhard Stefan
Dr. Wüest Simon
Institute of medical engineering IMT
Dipl. Ing. ETH Knodel Thomas
Energy and Environment

System Engineering of an Explorative Mammalian Cell Cube (EMC²) for Space Applications

Introduction

Microgravity conditions allow to observe cell culture in a unique environment. In contrast to standard 2D cell culture on Earth, cells often acquire scaffold-free, three dimensional structures in microgravity. Thanks to the ongoing commercialisation of space flight, a service provider (ICEcubes service) now provides a standardized experiment platform on the International Space Station (ISS) (see Fig. 1). Thus, industry and universities can book a place on this “ICEcubes” framework including support service to carry out their own experiments in microgravity over a prolonged time.

In this master thesis the prototype of an “ICEcube” which stands for international commercial experimental cube, was developed. This experiment hardware, called Explorative Mammalian Cell Cube (EMC²) should cultivate mammalian cells with the additional functionality of microscopic imaging and cell fixation (see Fig. 2). The goal of the master thesis was to test the functionalities of the EMC² system within the given space constraint of 2U (225 x 100 x 100 mm) outer dimensions.

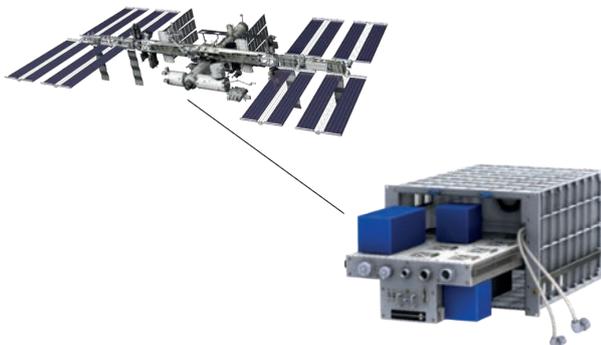


Fig. 1: Location of experiment: ICEcubes framework (ICF) on the International Space Station (ISS). Integrated International commercial experimental cubes (ICE Cubes) are indicated in blue. (Source: ICEcubes service / IRD)

Procedure

For the development of the EMC² a system engineering approach was used. This included the evaluation of stakeholders expectations, defining a system requirements list and a logical decomposition with corresponding system architecture. Moreover, during the iterative design and solution definition, multiple additively manufactured prototypes were built and their functionality was evaluated. Finally, a failure modes, effect and criticality analysis (FMECA) was developed to assess the critical items of the system.

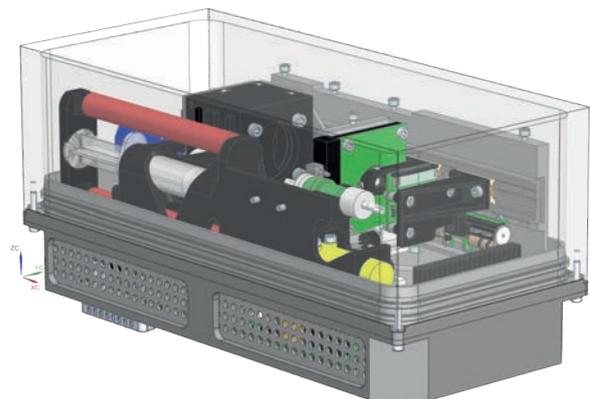


Fig. 2: EMC² system: Main functions include mammalian cell cultivation, cell fixation and microscopic imaging. Outer dimensions of 225 x 100 x 100 mm

Results

The semi-autonomous functionality of microscopic imaging of low and high contrast probes within a range of 10 - 100 microns was verified (see Fig. 3). In addition, the fluidic system functionalities including the cell fixation and nutrient delivery for the cells were verified by testing. In conclusion the proposed hardware design fits within the required dimension of 225 x 100 x 100 mm (see Fig. 2). Pending is the definition of electronics to handle the system in fully autonomous state with the possibility of telecommand interaction and the therefore needed software.

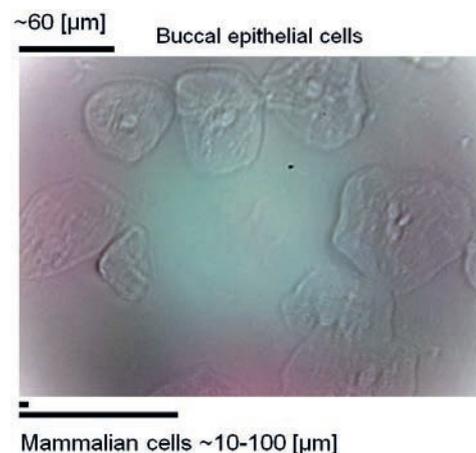


Fig. 3: Living buccal epithelial cells captured with the integrated illumination microscope



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Blättler Roman
Prof. Dr. Kleingries Mirko
Institut IME, CC TEVT
Dr. Guidati Gianfranco
Energy and Environment

Open-source application for design, simulation and analysis of multi-component gas adsorption processes in fixed bed columns

Introduction

Adsorption processes are among the most important process engineering methods for large scale gas separation and purification tasks in industry. Recent developments in separation technology have included new process designs and new adsorbents which offer attractive characteristics regarding energy demand, throughput, regeneration of the adsorbent and purity of the product.

To predict the performance of adsorptive separation systems and to optimise design and operation of those plants, mathematical-physical models and simulation software are increasingly required. In industrial development of adsorption processes, nevertheless, shortcut and scale-/numbering-up methods are still more commonly preferred over simulations.

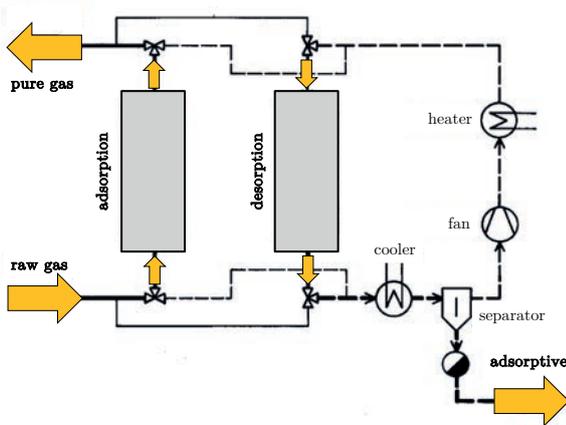


Fig. 1: Process flow diagram of an adsorption plant

Procedure

In a first step, the requirements were specified in cooperation with stakeholders. During the literature research, the technical and thermodynamic fundamentals were elaborated, followed by the modelling of the process, developing the correlations to map equilibria and kinetics, as well as deriving and discretising the partial differential equations. Further, concepts for the graphical user interface were elaborated. The final step included the implementation of the process model, the software functionalities and the GUI in Python programming language. The tool capabilities are placed in between commercial simulation software and common shortcut methods, i.e. it is a trade-off among fast and precise execution of process design.

Results

The specially developed adsorption model was successfully validated using a measured reference case for the separation of CO₂ and N₂ from He on activated carbon. The model combines mass, energy and momentum balances with a linear driving force approach for mass and heat transport. The equilibrium loadings are modelled with the extended Langmuir equation and the loading dependent enthalpies of adsorption are calculated via the isosteric method.

The current functional software framework allows the input of all defined parameters and measurement data, the modelling of adsorption equilibria, the simulation execution of designed adsorption process as well as the graphical evaluation of simulation results based on mass transfer zones and breakthrough curves.

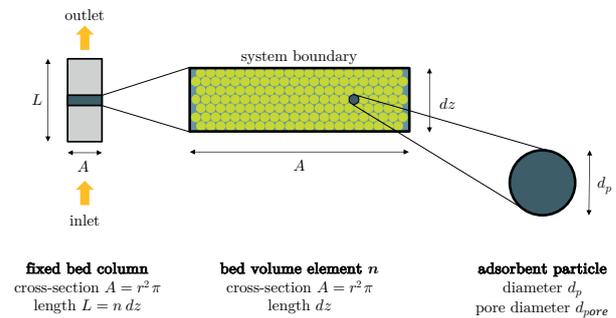


Fig. 2: Balance area of adsorber bed volume element

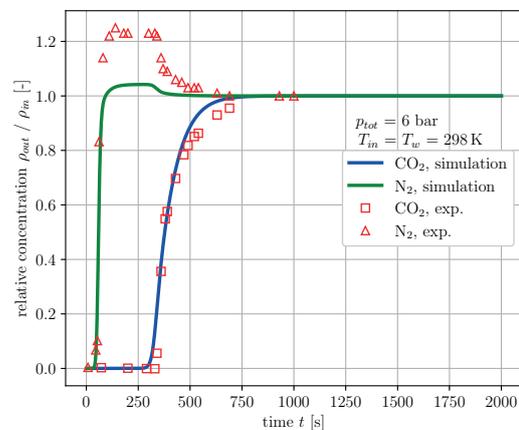


Fig. 3: Multi-component breakthrough curve of CO₂ and N₂ at pressure of 6 bar and temperature of 298 K for inlet and column wall, in comparison to experimental results



Diplomand
Dozent

Projektpartner
Experte
Themengebiet

Grossmann Marco
Prof. Legrand Ralf
Prof. Dr. Jensen Björn
Institut IME, CC Mechanische Systeme
Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Industrial Technologies

Validierung der Echtzeitfähigkeit von ROS 2 in der mobilen Robotik

Ausgangslage

In den letzten Jahren ist die Bedeutung von mobilen Robotern schnell gewachsen. Mit dieser neuen Art von Robotern entstehen neue Anforderungen bei der Entwicklung. Ein Tool, das sich in diesem Bereich für die Softwareentwicklung durchgesetzt hat, ist das Robot Operating System (ROS). ROS ermöglicht es, komplexe Aufgaben in übersichtlichere Teilaufgaben aufzuteilen. Diese modulare Herangehensweise erleichtert es, die Übersicht zu behalten und fördert die Wiederverwendung von bereits vorhandenen Softwarepaketen.

Die neue Generation von ROS, ROS 2, bringt Verbesserungen im Bereich der Zuverlässigkeit mit sich. Damit soll ROS 2 auch für zeit- und sicherheitskritische Anwendungen einsetzbar sein.

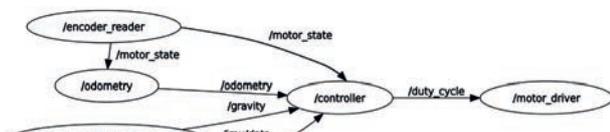


Abb. 1: Graphische Darstellung einer ROS 2 Anwendung bestehend aus fünf Knoten (Teilaufgaben). Durch die Pfeile wird der Informationsfluss zwischen den Knoten visualisiert

Vorgehen

Ziel dieser Master-Thesis ist es, sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Limitationen von ROS 2 für Echtzeitanwendungen mittels Versuche an zwei verschiedenen Versuchsaufbauten aufzuzeigen und einzuordnen. Hierzu wird auch eine Speicher Programmierbare Steuerung (SPS), ein industriell weit verbreitetes System, beigezogen.

Als Versuchsaufbauten werden zwei Problemstellungen aus der Regelungstechnik verwendet. Besonders bei instabilen Systemen ist die Zeit ein wichtiger Faktor, um das System stabilisieren zu können. In diesem Fall wird ein inverses Pendel sowie ein Ballbot aufgebaut, um daran Messungen durchführen zu können.

Ergebnis

Basierend auf den Resultaten der Experimente kann aufgezeigt werden, dass das Verhalten bezüglich zeitlicher Vorgaben stark durch den/die Entwickler:in beeinflusst wird. Dies beginnt mit dem Aufsetzen des Betriebssystems und geht weiter über diverse Einstellmöglichkeiten im Quellcode der zu entwickelnden Anwendung. Ebenfalls muss der Einbindung von externer Hardware (z.B. Sensoren) grosse Beachtung beigemessen werden.

Zum jetzigen Entwicklungsstand von ROS 2 eignet sich das Tool für Anwendungen mit weichen Echtzeitanforderungen. Dies sind Anwendungen, bei denen eine gestellte zeitliche Anforderung an das System bis zu einem gewissen Grad resp. zu einer gewissen Anzahl überschritten werden darf. Für Anwendungen mit harten Echtzeitanforderungen, bei denen die zeitlich gestellten Anforderungen jeder Zeit eingehalten werden müssen, sind andere Systeme wie beispielsweise eine SPS zu bevorzugen. Dies kann sich jedoch mit der laufenden Weiterentwicklung von ROS 2 in der Zukunft ändern.

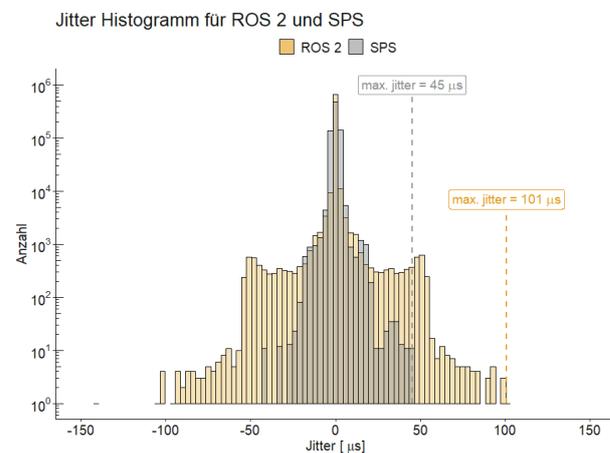


Abb. 2: Vergleich des gemessenen Jitters zwischen einer SPS und einem ROS 2 Knoten. Beim Jitter handelt es sich um die Differenz zwischen einem Zeitpunkt, bei dem eine Aufgabe ausgeführt werden soll und dem Zeitpunkt, bei dem die tatsächliche Ausführung erfolgt



Diplomand
Dozent
Projektpartner

Experte
Themengebiet

Lacher Markus
Prof. Dr. Kleingries Mirko
RINO Electronics AG, Genossenschaft Wohnen,
Arbeiten und Kultur Elgg und Umgebung
Dr. Guidati Gianfranco
Industrial Technologies

Prädiktive Regelung eines Gebäudeenergiesystems

Ausgangslage

Das Wohngebäude Schwalbenhof besitzt ein innovatives Gebäudeenergiesystem, das einerseits Solarthermie, Geothermie und Photovoltaik nutzt, andererseits Wärme in thermischen Kurzzeitspeichern wie auch in Langzeitspeicher speichert. Die Steuerung wiederum verbindet die Verbraucher mit der Wärmeerzeuger, welcher ein ähnliches Temperaturniveau liefert, wie der Verbraucher benötigt.

Die Steuerung ist zurzeit eine regelbasierende Steuerung und arbeitet mit der zurzeit herrschenden Systemtemperaturen und Systemeinstellungen. Diese regelbasierende Steuerung soll in einer prädiktiven Regelung umgeschrieben werden. Das Ziel dieser prädiktiven Regelung wiederum ist die Reduktion der energetischen Operationskosten basierend auf der Vorhersage des Energie-Produktion und -Verbrauchs auf den gegebenen Datenlage des Systems.



Abb. 1: Das Wohngebäude Schwalbenhof, Südliche Gebäudefront (Quelle: src-architekten)

Vorgehen

Zuerst wurde anhand der möglichen Ventilstellungen die verschiedenen Betriebszustände definiert und die vorhandenen Betriebsdaten dahin untersucht. In einem weiteren Schritt wurden bei einem Teilsystem die physikalischen Gesetzmässigkeiten beschrieben und die mögliche Einflussnahme über die Steuerung definiert. Daraus wiederum entstand dann das mathematische Grundgerüst für die Steuerung des Teilsystem.

Zusätzlich wurde eine Literaturrecherche von prädiktiver Regelung durchgeführt, die spezifische Elemente beinhalten, die auch im Energiesystem des Gebäudes vorkommen. Anhand der Literaturrecherche und im Sinne des modularen Aufbaus des Energiesystems wurde dann mögliche Strukturen der Steuerung aufgezeigt.

Ergebnis

Die vorhandenen Daten des Energiesystems kann verwendet werden, um die zukünftige prädiktive Steuerung entsprechend zu trainieren. Es muss aber bedacht werden, dass der Frühling 2021 kühler war als das meteorologische Standard-

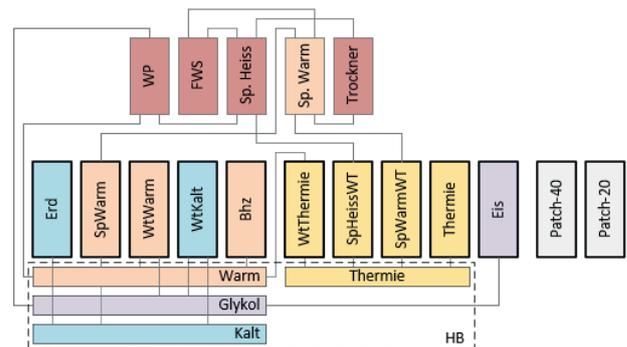


Abb. 2: Prinzipschema des Gebäudeenergiesystems: WP=Wärmepumpe, FWS=Frishwasserstation, Sp=Speicher, Erd=Erdsonde, Wt=Wärmetauscher, Bhz=Bodenheizung, Eis=Eisspeicher, Patch-20/40: Batteriesysteme für Photovoltaik

jahr und entsprechende Einflüsse haben dürfte auf die prädiktive Steuerung.

Die Struktur der prädiktiven Steuerung konnte in vier Kategorien unterteilt werden mit entsprechenden Vor- und Nachteilen. Wenn möglich sollte die Struktur der prädiktiven Steuerung die Kreisläufe des Energiesystems repräsentieren statt der einzelnen verwendeten Bauteile im System.

Kommunikation	MPC eMobilität	MPC Elektrizität	eMobilität
	MPC Patch20		Patch20
	MPC Patch40		Patch40
	MPC HUB		Trockner
	MPC Trockner	MPC Heiss	FWS
	MPC FWS		HUB
	MPC WTKalt		WTKalt
	MPC Erd		WTWarm
	MPC Eis		SpWarm
	MPC WTWarm	MPC Kalt	WTThermie
	MPC SpWarm		Erd
	MPC BHZ	MPC Glykol	Eis
	MPC WTThermie	MPC Warm	BHZ
	MPC Thermie	MPC Thermie	Thermie
MPC SpWarmWT	SpWarmWT		
MPC SpHeissWT	SpHeissWT		

Abb. 3: Zwei Beispiele einer möglichen Struktur der prädiktiven Steuerung. MPC=Model predictive control. Farbcode Fluidkreisläufe: Dunkelgrau: Kommunikationsebene der Steuerung, Hellgrau: Elektrische Energie, Dunkelrot: Brauchwarmwasser, Hellrot: Gebäudeheizung, Gelb: Solarthermie, Violett: Eisspeicher, Blau, Erdwärmesonden



Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet

Ribeiro Holanda Lima Daniel
Prof. Dr. Koller Adrian
HSLU - Team "ARAWEX" (SNF Project)
Prof. Dr. Bermes Christian
Industrial Technologies

Performance Margin Estimation based on Motion Primitives for an Agricultural Robot

Introduction

The problem that inspired this project is the undesirable presence of weeds in pastures and the issues they can cause. One of its main complications is the competition for nutrients in the soil, which can cause a non-optimal use of the pasture area.

Periodic mowing is an excellent option for controlling weeds where equipment can be utilized. Repeated mowing reduces weeds' competitive ability, depletes carbohydrate reserves in their roots, and prevents them from producing seeds. Some weeds, mowed when they are young, are consumed and enjoyed by livestock. One-time mowing will not be enough to control specific weeds, but mowing three or four times per year over a myriad of years can dramatically reduce and occasionally extinguish most weeds.

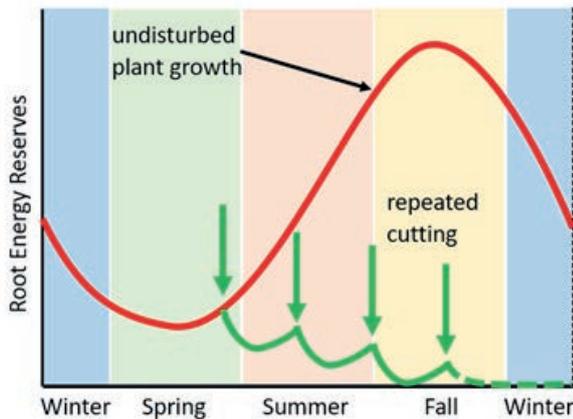


Fig. 1: Root energy reserves and systematic mowing effect

Procedure

This research focuses on the development of an envelope protection for an autonomous agricultural robot. Its goal is creating a speed control that responds to the main challenges and dangers such a robot could face during an off-road operation: lack of power, slippage, side/back tipping, and terrain roughness. With the aid of existing research that defines the optimum velocity for off-road vehicles and the use of limiting factors based on the environmental conditions, a method for the envelope protection is proposed:

$$V_{set} = V_{opt} - \max [V_p, V_\phi, V_\theta, V_{r\phi}, V_{r\theta}]$$

The idea is that the set speed of the machine (V_{set}) will be an optimum velocity (V_{opt}) – based on the slippage due to the terrain type – minus the maximum amongst several velocity limiting factors. The factors are based on the available power (V_p), roll angle (V_ϕ), pitch angle (V_θ), and terrain roughness ($V_{r\phi}$, $V_{r\theta}$).

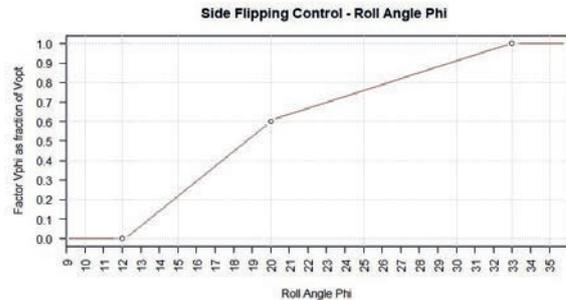


Fig. 2: Side tipping factor V_ϕ as function of roll angle ϕ

Results

Firstly, it was shown that, for this project, lack of power would not be a problem due to the robot's powerful engine. Therefore, the power factor V_p was disregarded. Secondly, it was found that the proposed method for the calculation of the limiting factors worked well with artificial data. However, adding a moving average could make the results smoother and easier to follow by the robot controller. Finally, the speed control system was tested in the ROS' Gazebo simulation tool. Due to the model's simplicity, only the tipping factors V_ϕ and V_θ were tested. The outcome, as expected, was in line with the first test and delivered excellent results.

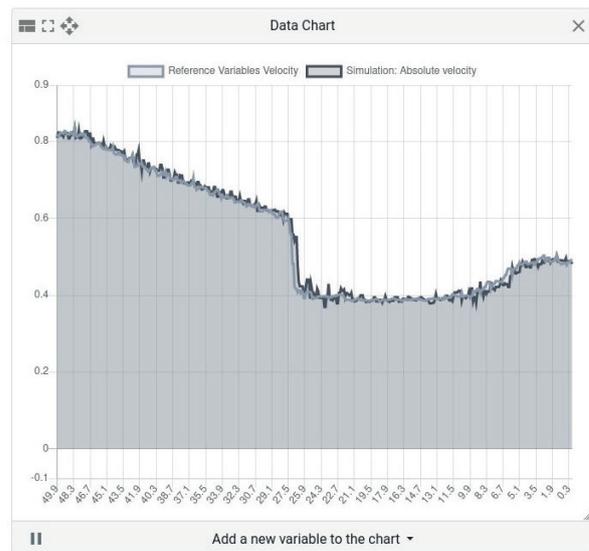


Fig. 3: Speed control during the simulation. Light gray line represents set speed V_{set} and dark gray line represents actual speed of the robot



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Rüd Mario
Prof. Dr. Székely Gerhard Stefan
Beyond Gravity Schweiz AG
Dipl. Ing. ETH Knodel Thomas
Industrial Technologies**

Feasibility Study on Advanced Automation and Robotics for Space Mechanism Small Series Production

Introduction

Satellite mechanisms are typically used to move and orientate equipment which is attached to a spacecraft. Currently, these complex mechanisms (see Fig. 1) are assembled mostly in manual working steps. In the new space era, large satellite constellations are launched. Therefore, efficient and repeatable automation methods must be found to realize significantly higher mechanism production quantities.



Fig. 1: SARA 21 Satellite Antenna Rotary Actuator

Procedure

To understand the details and the difficulties of the current assembly processes, a complete mechanism assembly was attended in the cleanroom. Basically, the assembly can be structured into the parts preparation, mechanical assembly and electrical installation. The highest automation potential was detected in the areas mechanical assembly and electrical installation.

Based on the assembly analysis, automation concepts were developed, typically for repeating assembly steps. The proposed concepts include eight production automation solutions and two process automation approaches. The evaluation is based on a financial calculation of the Break-Even-Point and a benefit analysis with criteria like failure rate, accuracy and quality assurance. In areas where the automation concepts can use their advantages in accuracy and repeatability, potentials can be obtained with for example a Break-Even-Point of 1.5 years for a grease dispensing robot (see Fig. 2).

Results

Based on the evaluation, four concepts without automation potential were determined. Six concepts do have automation potential and for three of them, prototypes were already developed and built. This includes two process automation

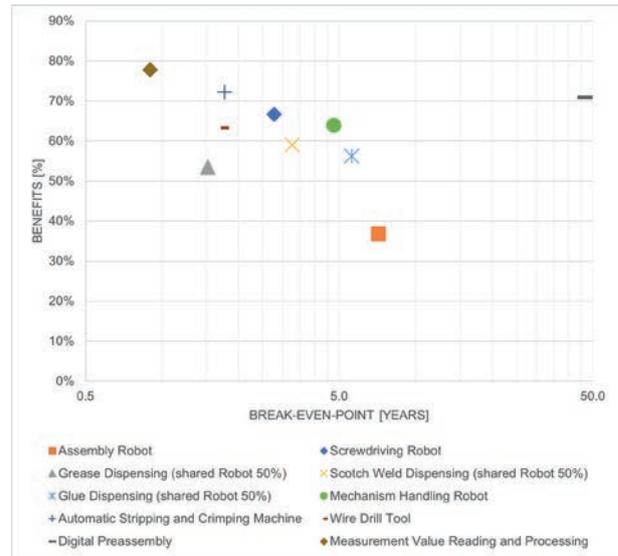


Fig. 2: Results of Financial and non-Financial (Benefit) Evaluation

approaches, programmed in MATLAB and the 3D printed wire drill tool (see Fig. 3) which aims to replace the manual drilling process. The requirement to not twist the individual wires during the drilling process made this tool complex. By realizing the six proposed flexible automation solutions for the SARA 21 production, the assembly time could be decreased by 11.3 % and the production quality increased.

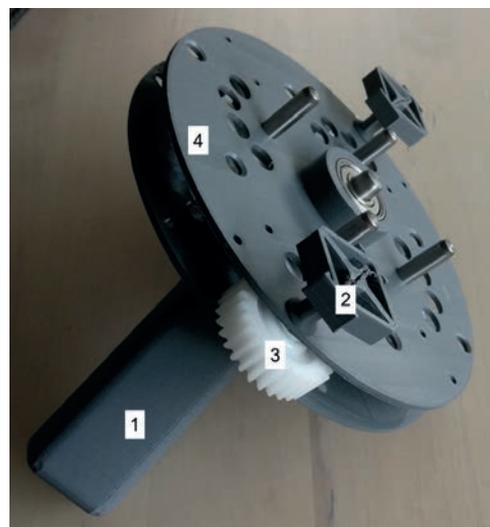


Fig. 3: Wire Drill Tool Prototype; 1: Handle; 2: Wire Clamp; 3: Gears; 4: Rotating Disc



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Schmid Angelika
Prof. Dr. Müller Ulf Christian
Turbo Systems Switzerland Ltd.
Dr. Schlienger Joel
Energy and Environment**

Konzipierung und Bewertung eines CO₂-armen Betriebs von Turboladerprüfständen

Ausgangslage

Der Industriepartner Turbo Systems Switzerland Ltd. entwickelt und testet Grossturbolader für Schiffsmotoren. Es werden sechs Prüfstände für unterschiedliche Turboladegrößen betrieben. Der Wärmeeintrag wird zurzeit durch die Verbrennung von Heizöl in Gasturbinenbrennkammern sichergestellt (Abb. 1). Dabei entstehen jährlich Treibhausgasemissionen in der Höhe von etwa 700 t Kohlendioxid. Diese sollen bis 2030 um 80 % reduziert werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es alternative Technologien für eine treibhausgasextensivere Wärmebereitstellung im Test Center zu identifizieren und für den Einsatz in den Prüfständen zu bewerten.

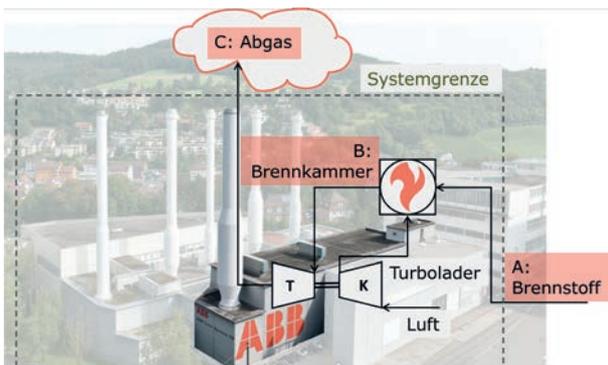


Abb. 1: Vereinfachtes Prozessdiagramm eines Turboladerprüfstands

Vorgehen

Anhand des Kohlenstoffwegs durch die Prüfstände wurden verschiedene Technologiekonzepte identifiziert und für den Betrieb im Test Center analysiert (A, B und C in Abb. 1). Insgesamt wurden die Technologiekonzepte auf der Basis von 20 Kriterien bewertet und miteinander verglichen (Abb. 2). Die Kriteriengruppe Emissionen und Prüfstandsbetrieb wurden doppelt gewichtet. Denn oberste Priorität ist die Sicherstellung eines uneingeschränkten Prüfstandsbetriebs, bei gleichzeitiger substantieller Reduktion von Treibhausgasemissionen.

Ergebnis

Als kostengünstigste und zeitnah umsetzbare Variante hat sich die Verwendung von alternativen biogenen Brennstoffen herausgestellt (Abb. 3). Aufbereitete Pflanzenöle in Form

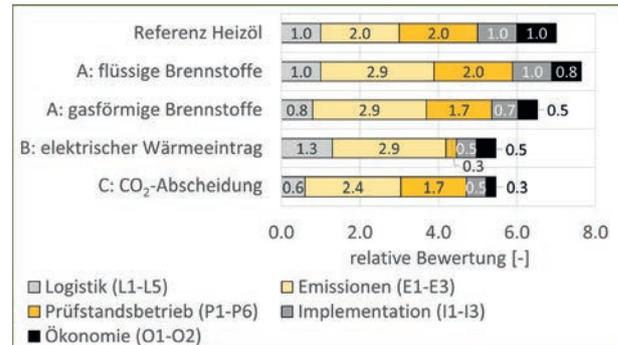


Abb. 2: Bewertung der unterschiedlichen Technologiekonzepte

von Biodiesel und hydrierten Pflanzenölen (HVO) sind bereits in genügend grossen Mengen in der Schweiz verfügbar. Sie lassen sich in beliebigen Verhältnissen mit Heizöl mischen und ermöglichen mit minimalen Anpassungen der Prüfstandsinfrastruktur einen uneingeschränkten Versuchsbetrieb.

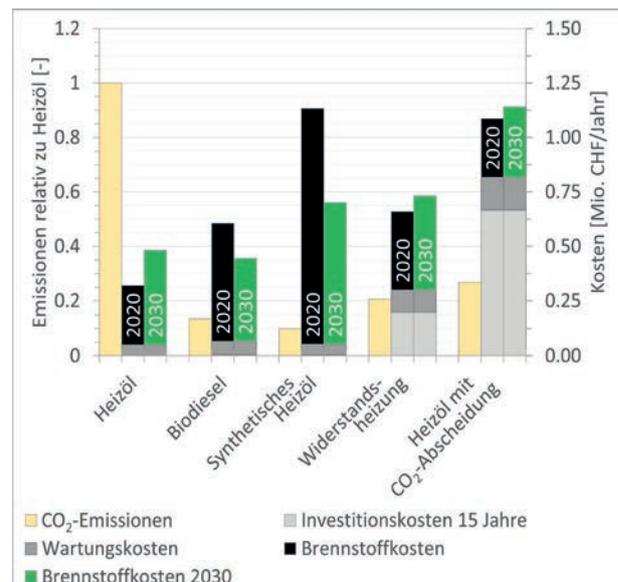


Abb. 3: Emissionen und Kostenentwicklung der unterschiedlichen Technologiekonzepte



**Diplomand
Dozent
Projektpartner
Experte
Themengebiet**

**Tamburini Reto
Prof. Dr. Kleingries Mirko
Mikroalgen Hamaland GbR
Dr. Guidati Gianfranco
Energy and Environment**

Theoretical and Experimental Evaluation of Maximum CO₂ Sequestration Productivity of Microalgae in Photobioreactors with subsequent Reactor Design for Carbon Dioxide Removal

Introduction

In order to counteract anthropogenic climate change, not only anthropogenic CO₂ emissions must be reduced quickly and significantly, but also Negative Emission Technologies (NET) must be employed on a large scale. The NET include numerous approaches such as afforestation, ocean fertilization, replacement of concrete and metals with woods, etc. The growth of plants on land through photosynthesis sequesters CO₂ from the atmosphere and stores it long-term if the biomass is removed from the natural cycle. If the goal is to maximize the production rate of biomass with high energy and space efficiency, photosynthesis of microalgae in Photobioreactors (PBR) is significantly superior to photosynthesis of land plants by a factor of 10 to 50 under suitable conditions. The objective of this work is to theoretically and experimentally gain knowledge of suitable algae species and cultivation conditions.



Fig. 1: Built test reactors during experimental investigation

Procedure

In a first step, a detailed literature research on microalgae and their cultivation was carried out. In addition, a market and patent research in collaboration with the Swiss Federal Institute of Intellectual Property (IGE/IPI) was conducted in order to obtain suggestions and ideas regarding reactor designs and cultivation concepts as well as to chart the market situation. In the second step, the experimental investigations were planned and carried out. Therefore, ten test reactors were built and tested. After that, three measurement series with eight test reactors were conducted by varying different operational parameters on a two level full factorial design with the help of Design of Experiments (DoE).

Based on the results and findings of the experimental investigation, two concepts for pilot plant scale reactors were developed.

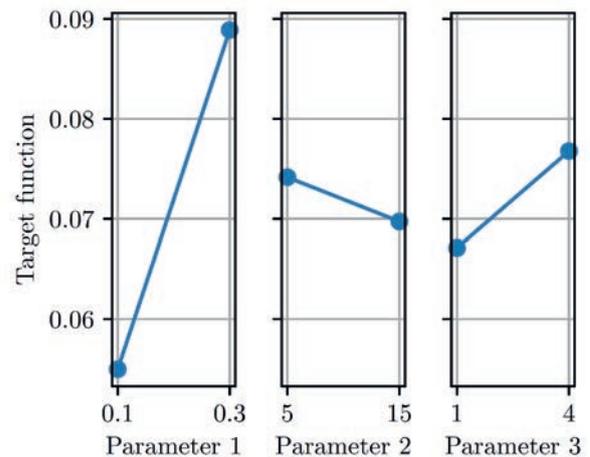


Fig. 2: Resulting mean target function biomass increment per day for the two level full factorial design with three parameters of the first measurement series

Results

The results of the experimental investigation show the dependencies of the target functions maximum biomass increment per day and maximum biomass concentration achieved on three variation parameters. It showed that the first parameter has the greatest influence on the target function biomass increment per day, while the influences of the other two parameters are not significant for a 95 % confidence interval. For reasons of confidentiality, no precise details of the parameters are given.

For future studies, the parameter space should be extended and the most influential parameters should be investigated on a three or more level full factorial design.

The first of the two developed concepts for pilot plant scale reactors aims at minimum energy consumption while the second concept aims at maximum area related productivity. The two concepts were worked out in detail. However, components still have to be defined and selected for real implementation.