HSLU Hochschule Luzern

HSLU Technik & Architektur
Institut für Maschinen- und Energietechnik

Bachelor- und Master-Theses 2023

Studiengang Maschinentechnik
Studiengang Digital Engineering

Mehr Infos unter
hslu.ch/technik-architektur

FH Zentralschweiz

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser.

Gerne lade ich Sie zur Lektüre dieser spannenden Broschüre mit Kurzfassungen der Bachelor- und Master-Theses 2023 der Studiengänge BSc Maschinentechnik, BSc Digital Engineering und MSE mit Schwerpunkten in der Maschinen- und Energietechnik ein. Als neuer Studiengangleiter erfüllt es mich mit Freude, die Vielfalt und die Qualität dieser Arbeiten zu sehen, die als Schlusspunkt eines anspruchsvollen und intensiven Studiums entstanden sind.

Rückblickend möchte ich erwähnen, dass die meisten unserer Absolventinnen und Absolventen ihr Studium in der Corona-Pandemie angefangen haben. Es war eine unsichere Zeit voller Herausforderungen für sie und unsere Dozierenden: abruptes Umstellen auf Online-Unterricht; Unklarheiten, wie Prüfungen stattfinden und die Labormodule unterrichtet werden sollen; Ungewissheit, wie die Beteiligung am Unterricht sichergestellt werden kann. Dank unserer Anpassungsfähigkeit und der Geduld aller Beteiligten haben wir Lösungen erarbeitet und umgesetzt. Umso mehr bin ich dankbar, dass diese Zeit jetzt überwunden ist und wir in den neuen normalen Studienalltag zurückgekehrt sind. Wir sind wieder auf dem Campus und die so wichtigen zwischenmenschlichen Kontakte sind wieder möglich. Wir haben aber auch festgestellt, dass die digitale Welt uns sehr viele Zusatzmöglichkeiten eröffnet – weit mehr, als wir ursprünglich gedacht hatten.

Im Verlauf des Studiums haben unsere Studierenden in den Modulen sowohl ihre Fach- und Methodenkompetenzen im Bereich der jeweiligen Studien- und Vertiefungsrichtungen aufgebaut als auch an ihren Sozialkompetenzen arbeiten können – allen voran im Rahmen der interdisziplinären Projektmodule. Für ihre intellektuellen Leistungen und ihren Durchhaltewillen verdienen sie grossen Respekt und hohe Anerkennung.

Die abschliessende Etappe auf ihrem Weg zum „Bachelor of Science Hochschule Luzern/FHZ in Mechanical Engineering“ und „Bachelor of Science Hochschule Luzern/FHZ in Digital Engineering“ beziehungsweise zum «Master of Science in Engineering» ist die Arbeit an der Thesis. Hierbei müssen noch einmal alle erlernten Register gezogen und die Fähigkeit zum technisch-wissenschaftlichen Arbeiten unter Beweis gestellt werden. Die hier präsentierten Arbeiten legen ein beeindruckendes Zeugnis davon ab, was unsere Studierenden zu leisten vermögen.

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. Dr. Gerhard Stefan Székely
Studiengangleiter Maschinentechnik

Kontakt:
T: +41 41 349 32 42
gerhardstefan.szekely@hslu.ch

Inhaltsverzeichnis

Bachelor-Theses Maschinentechnik

Diplomand*in	Thema	Seite
Allgäuer Dario	ARA Werdhölzli: Energieoptimierung mittels Pinch-Analyse	7
Badic Nermin	Bestimmung des Matrix Borne Carry Over von Volatile Organic Compounds in Sorptionsrotoren – Beitrag zur Methodenentwicklung	8
Bachmann Benjamin	Physikalische Modellierung von Wärmeübertragern zur modellbasierten Auslegung von Kühlgeräten	9
Barmettler Werner	Interner Wasserkreislauf für Freifallgeräte	10
Bättig Thomas	Leichtbaukonzept für Getreidesilos	11
Baumeler Martin	Entwicklung einer Messboje	12
Bissig Jonas	Optimierung hydraulischer Ventilsteuerungen	13
Blaser Manuel	Messaufbau für eine elektromechanische Fahrwerkshöhenverstellung	14
Brügger Simon	Entwicklung eines Messverfahrens zur Überwachung eines Seilspleisses und Konstruktion eines Versuchsaufbaus für den im Seil verbauten Sensor	15
Brun Joshua	Model-Based Reinforcement Learning mit dynamischen Systemmodellen	16
Bucher Andrea	Minimierung von Leistungsverlusten an Schnitzeltrockner-Schubbodenantrieb	17
Bühler Michael	Konzept und Funktionsmuster zum Sensoreinbau in Getreidereiniger	18
Burri Sven	Vakuumgreifer für Smart-Rotationsmodul	19
Eichenberger Max	Festigkeitsanalyse Abdeckung Kieswagen	20
Eicher Claudio	Auslegung eines Latentwärmespeichermoduls Compact Cell	21
Estermann Patrick	Entwicklung eines Solarkochherdes mit Latentwärmespeicher	22
Felder Andreas	Neukonstruktion Transferantrieb	23
Fuchs Marco	Entwicklung eines Feuchtigkeitskontrollers für ein Setup zur Bestimmung der Kriechdehnung von Dämmmaterial	24
Graven Dominik	Entwicklung energieoptimierter hydraulischer Antriebe	25
Güntensperger Janosch	Sorptionswärmespeicher, Systemauslegung und Dimensionierung für einen Gebäudekomplex	26
Huber Lukas	Testen und weiterentwickeln einer Druckkammer für Computertomographie	27
Imfeld Basil	Kavitationsmessungen an einem NACA Profil mit verschiedenen Spaltöffnungen	28
Krauer Roger	Gekoppelte Simulation eines Wafer-Inspektionssystems	29
Leuthard Joshua	Materialanalyse Belag Stöckli-Ski	30
Marro Matthias	Autarker Verkaufsautomat	31
Meier Nico	Aerodynamische Optimierung von Aussenhülle eines Hyperloop-Pods	32
Muff Armando	Neukonzeptionierung Auslösegriff Lawinenrucksack	33
Müller Sabrina	Netto-Null Gebäude mit Klimakonvektoren	34
Müller Nicolas	Analyse von Wärmeübertragern für Kühlprozesse mit einem Stirlingmotor	35
Niederberger Daniel	Serientaugliche Charakterisierung von PECVD Schichten	36
Rey Fabian	Hubboden für das Edelweissbecken	37
Rohrer Sven	Prüfstand für Piezoantriebe	38
Schmid Fabio	Entwicklung eines Rumpfes für ein E-Pedalo	39
Schürmann Giulio	Creating a calculation tool for compression fittings	40
Soland Olivier	Elektrischer Antrieb als Nachrüstbausatz für Rodelschlitten	41
Stalder Nico	Trocknungskonzept für Leiterplatten	42
Summermatter Marc	Requalifizierung von Faserverbundmaterialien	43
Terracciano Jvan	Litzenringe crimpen	44
Thalmann Mike	Entwicklung einer Book of One Entstapelung	45
Waldvogel Gabriel	Unterdrückung der Instabilitäten an Pumpen mit Fluid Injektion am Eintritt	46
Walker Manuel	Untersuchung alternativer Ski-Konstruktionen mittels Simulationsmodellen	47
Waser Cyrill	Entwicklung einer Temperiervorrichtung für die Untersuchung von Phasenwechselmaterialien im Computertomographen	48
Wicki Kay	Konzeptionierung einer Starrtisch-Palettisierung für ein 5-Achsen Bearbeitungszentrum	49
Zimmermann Björn	Materialanalyse für Stöckli-Skis - Holzkern	50
Zum Wald Oswald	N-20.3 Aerodynamic Characteristics Simulation and Validation	51

Inhaltsverzeichnis

Bachelor-Theses Digital Engineering

Diplomand*in	Thema	Seite
An Dimitry	Aufbereitung und Analyse historischer Daten des Herstellprozesses von Elektrokeramik-Bauteilen	53
Huser Samuel	Roboterdaten auf dem S-bot visualisieren und Befehlsausführung mit WebUI	54
Sprecher Rachel	XIL-Konzeptentwicklung für Gebäudetechnik Produkte	55

Master-Theses Engineering

Amsler Moritz	A critical assessment of lifecycle emission estimation methods, including the impact of circularity approaches: A case study analysis of beverage cup materials	57
Hochuli Adina	Shape effects of various geometries on packed bed structures	58
Huber Marius	Image Recognition and Assembly of Small Parts	59
Lichtsteiner Marvin	Stereo Vision-Based Object Detection for Mechanical Parts using Synthetic Data Generation and Convolutional Neural Networks	60
Moretti Raphael	Optimization of the heat storage cells of a thermal energy storage system using multiphysics simulations, dynamic models and experimental tests	61
Zeinali Nader	Numerical investigation of drag and vehicle instability induced by interaction between reflection shock wave and vehicle moving inside low-pressure tube	62
Zgraggen Tim	Experimental investigation of effects on supercooling and segregation of the PCM used in the SeasonCell concept	63
Zimmermann Reto	Thermomechanische Optimierung eines Moduls einer Kaffeemaschine	64

Bachelor-Theses Maschinentechnik

Diplomand Allgäuer Dario
Dozent Prof. Dr. Wellig Beat
Projektpartner Abwasserreinigungsanlage (ARA) Werdhölzli
Expertin Dr. Grüniger Andrea
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

ARA Werdhölzli: Energieoptimierung mittels Pinch-Analyse

Ausgangslage

Die ARA Werdhölzli (Abb. 1) in Zürich ist die grösste Abwasserreinigungsanlage der Schweiz und betreibt zugleich die modernste Klärschlammverwertungsanlage (KSV) der Schweiz. Durch die Verbrennung von Klärschlamm entstehen jährlich rund 22‘000 t CO_2, welche über das Rauchgas an die Umgebung abgegeben werden. Zum Erreichen von Negativ-Emissionen soll dieses CO_2 mit dem Verfahren der Aminwäsche abgeschieden werden. Eine CO_2-Abscheidungsanlage benötigt im Betrieb viel Wärme. Deshalb spielt die optimale Wärmeintegration dieser Anlage in die bestehenden Prozesse eine zentrale Rolle. Die KSV produziert jährlich rund 60 GWh thermische Energie, welche Prozesse auf dem Areal sowie ein Fernwärmenetz mit Wärme versorgt. Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wird mittels Pinch-Analyse untersucht, wie die CO_2-Abscheidungsanlage optimal in die bestehenden Prozesse eingegliedert werden kann.

Abb. 1: ARA Werdhölzli [Broschüre ARA Werdhölzli]

Vorgehen

Zu Beginn werden die Grundlagen zur CO_2-Abscheidung erarbeitet. Anschliessend erfolgt die Einarbeitung in die Prozesse der ARA und KSV und die Analyse des Ist-Zustandes. Diese beinhaltet folgende Schritte:

- Vereinfachtes Prozessschema erstellen
- Wärmeflüsse identifizieren
- Systemgrenzen definieren und bilanzieren
- Betriebsfälle festlegen

Nach diesen Arbeitsschritten liegt ein fundierter Überblick über den Energiehaushalt der ARA und KSV vor. Für die Pinch-Analyse werden die Prozessanforderungen der CO_2-Abscheidung, ARA und KSV definiert. Daraus werden mit der Software PinCH die Composite Curves (Abb. 2) berechnet, welche das maximale Wärmerückgewinnungspotential aufzeigen. Im nächsten Schritt erfolgt das Design des Wärmeübertrager-Netzwerkes. Mit einer iterativen Vorgehensweise wird versucht, eine möglichst hohe Wärmerückgewinnung (WRG) zu erreichen und wenn möglich bestehende Systeme weiter zu verwenden.

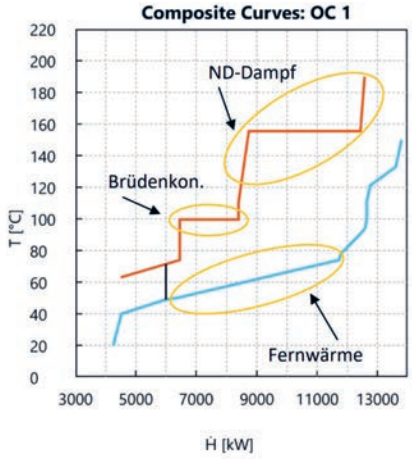


Abb. 2: Composite Curves der ARA- und KSV-Prozesse

Ergebnis

Die CO_2-Abscheidungsanlage benötig für den Betrieb etwa 30 bis 40 % der von der KSV produzierten thermischen Energie. Durch gezielte Wärmerückgewinnungsmassnahmen können rund 45 % aus der Abwärme der CO_2-Abscheidungsanlage durch direkte Einbindung in die Prozesse der ARA zurückgewonnen werden. Weitere 50 % der Abwärme stellen eine geeignete Quelle für eine Wärmepumpe dar. Der Einfluss dieser Wärmepumpe auf die Wärmeabgabe an das Fernwärmenetz ist in Abb. 3 dargestellt. Mit diesen Massnahmen können weiterhin alle Prozesse der ARA und der KSV gedeckt werden. Zudem kann mit zusätzlicher elektrischer Energie die gleiche thermische Energie an das Fernwärmenetz abgegeben werden.

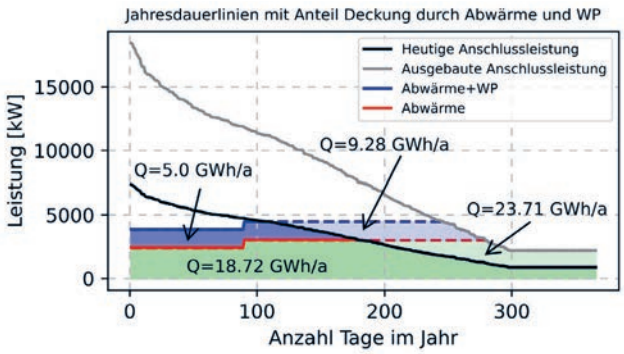


Abb. 3: Jahresdauerlinie des Fernwärmenetzes. Die grüne Fläche stellt die zu decken mögliche Wärmemenge durch direkte Wärmerückgewinnung dar. Die blaue Fläche zeigt das Potential der Wärmepumpe

Diplomand Badic Nermin
Dozent Prof. Dr. Mirko Kleingries
Projektpartner Hochstrasser Glaus & Partner Consulting AG Beratende Ingenieure (HGP) SIA/USIC
Experte Dipl. Ing. FH Gasser Lukas
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

Bestimmung des Matrix Borne Carry Over von Volatile Organic Compounds in Sorptionsrotoren – Beitrag zur Methodenentwicklung

Ausgangslage

Sorptionsrotoren werden in Klima- und Lüftungsanlagen zur Energierückgewinnung eingesetzt. Die Übertragung von Feuchtigkeit aus der Abluft in die Zuluft ist vielfach aufgrund von Energie und Behaglichkeit relevant. Die Übertragung von unerwünschten Schadstoffen (VOC) kann hierbei nicht ausgeschlossen werden. Die Forschungsgruppe *SORPTION* der Hochschule Luzern arbeitet an der Entwicklung einer Methodik, die den Matrix Borne Carry Over von VOC in Sorptionsrotoren bestimmt.

Mit Hilfe von experimentell ermittelten Adsorptionsisothermen sollen Aussagen über die matrixbedingte Verschleppung getätigt werden können. Die Weiterentwicklung der Methodik erfolgte im Austausch mit der Hochstrasser Glaus & Partner Consulting AG, einem zukunftsorientierten Ingenieurbüro, das sich in der Projektierung von komplexer Gebäudetechnik spezialisiert hat.

Vorgehen

Mit den Erkenntnissen aus der Einarbeitung in die Thematik wurde ein Versuchsplan für die experimentelle Untersuchung erstellt. Dazu wurden die folgenden Punkte recherchiert und bestimmt:

- Auswahl relevanter VOCs
- Bestimmung der Randbedingungen bezüglich Temperatur, Druck und Feuchtigkeit
- Bestimmung des Volumenstromes und der Konzentration

Die Umsetzung des Versuchsplans erfolgte am dynamischen Sorptionsanalysator MixSorb® von 3P Instruments.

Ergebnis

Limonen, Formaldehyd und Benzol wurden untersucht. Anhand der in Tabelle 1 dargestellten Betriebspunkte von Sorptionsrotoren wurden die Durchbruchskurven bestimmt.

Tabelle 1: Untersuchte Betriebspunkte

	Temperatur [°C]	Feuchtigkeit [g/kg]
Winter I	2	2
Winter II	10	5.5
Sommer I	20	7.7
Sommer II	30	12.6

Die Messungen zeigten unter anderem auf, dass die Kalibrierung des Messverfahrens bezüglich Formaldehyds im Trägergas Stickstoff unmöglich war, da die relevanten Eigenschaften der Gase sich zu sehr ähnelten. Das Messrauschen verhinderte eine eindeutige Bestimmung des Formaldehyds. Als alternatives Trägergas könnten Kohlenstoffdioxid, Argon oder Helium verwendet werden.

Benzol konnte in allen Betriebspunkten erfolgreich gemessen werden. Im Winterfall bei 10 °C und 5.5 g/kg Feuchtigkeit konnte ein unerwarteter Kurvenverlauf festgestellt werden. Die Auswertung in Abb. 2 zeigte, dass sich in der Probe H_2O angesammelt hatte und für diesen Anstieg verantwortlich war. Benzol konnte in den Betriebspunkten des Sorptionsrotors reproduzierbar gemessen werden.

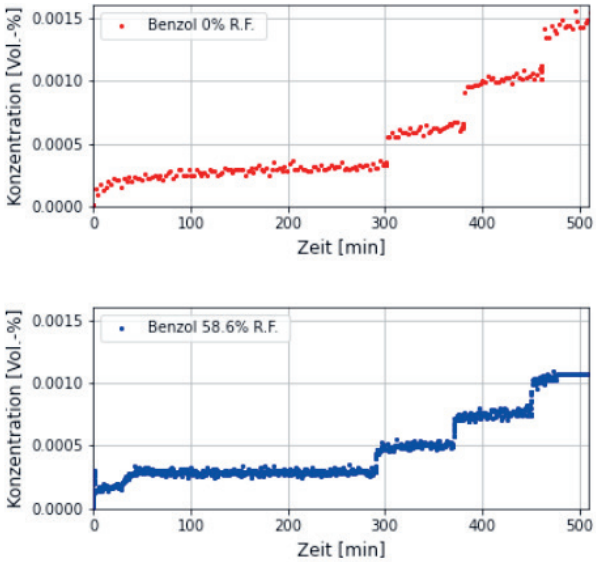


Abb. 1: Durchbruchkurve von Benzol bei 10 °C mit und ohne Feuchtigkeit im Vergleich

Die ermittelten Adsorptionsisothermen können nun in die Software (SYSKON) implementiert werden. Der kalkulierte Carry Over muss danach durch das Zentrum für Integrale Gebäudetechnik mit den Messungen am realen Sorptionsrotor validiert werden.

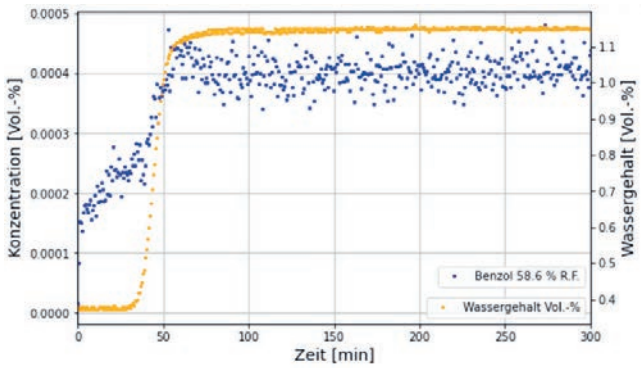


Abb. 2: Ermittlung der Ursache des Verlaufs der Durchbruchkurve

Diplomand Bachmann Benjamin
Dozent Prof. Dr. Müller Ulf Christian
Projektpartner V-Zug Kühltechnik AG
Experte Dr. Schlienger Joel
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

Physikalische Modellierung von Wärmeübertragern zur modellbasierten Auslegung von Kühlgeräten

Ausgangslage

V-Zug entwickelt und produziert als einziger Hersteller Kühlschränke in der Schweiz. Auf diese Weise kann der Entstehungsprozess eng begleitet und ein langlebiges Qualitätsprodukt zur Verfügung gestellt werden. Zurzeit werden Komponenten und Regler iterativ mittels Excel-Tools ausgelegt. Dieses Verfahren soll durch Digitale Zwillinge (DTwins) ersetzt werden. Mittels sogenannten DTwins können instationäre Zustände diskret abgebildet werden, was den zeitlichen Aufwand für die Regler und Komponentenauslegung massiv verringern kann. DTwins werden in der Modellierungssprache Modelica entwickelt. Diese bietet verschiedene kommerzielle und Open-Source Libraries an, aus welchen die Komponenten mittels Drag-and-drop zu dynamischen Systemen zusammengebaut werden können. Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Digitaler Zwilling eines Wire-on-Tube Wärmeübertragers zur Abbildung instationärer Zustände in Kältekreisläufen mit Zweiphasenströmung entwickelt werden. Dieser Zwilling soll in die kommerzielle TIL-Bibliothek eingebettet werden, sodass das Systemmodell in einem kompletten Kühlkreislauf verwendet werden kann.

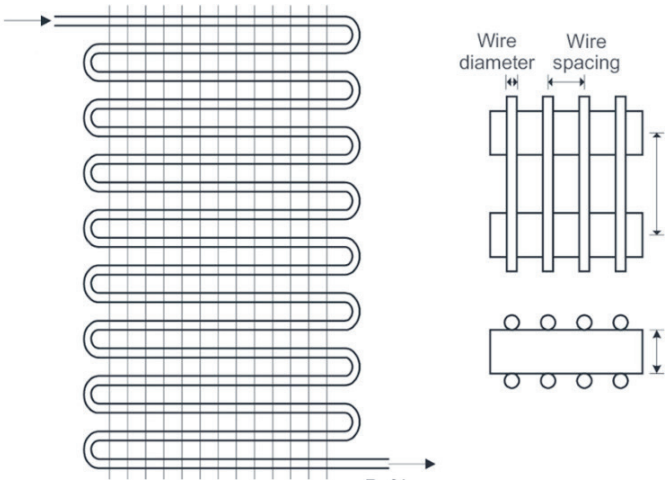


Abb. 1: Schema eines Wire-on-Tube Wärmeübertragers

Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde eine ausgedehnte Literaturrecherche nach einer passenden Korrelation für den äusseren Wärmeübergang des Wire-on-Tube Wärmeübertragers durchgeführt. Zudem war es notwendig die Philosophie der TIL-Bibliothek zu verstehen, um das Systemmodell in diese einzubetten. Als nächster Schritt wurde die Korrelation in Modelica implementiert und auf ein bestehendes Systemmodell angepasst. In einem letzten Schritt ist eine Plausibilisierung mit vorhandenen Messwerten, sowie Messwerten aus der Literatur durchgeführt worden.

Ergebnis

Aus zeitlichen Gründen konnte nur eine Plausibilisierung im stationären Zustand durchgeführt werden. Dazu ist ein Nulldimensionales Modell erstellt worden, in welchem die stationären Zustandspunkte rechnerisch ermittelt worden sind. Die Abweichungen der errechneten Werte zu den modellierten Werten im stationären Zustand liegen dabei unter 10 %. Ausstehend ist dabei noch die Validierung des Modells für den instationären Zustand. Dieser Schritt konnte im Rahmen der Arbeit nicht abgeschlossen werden.

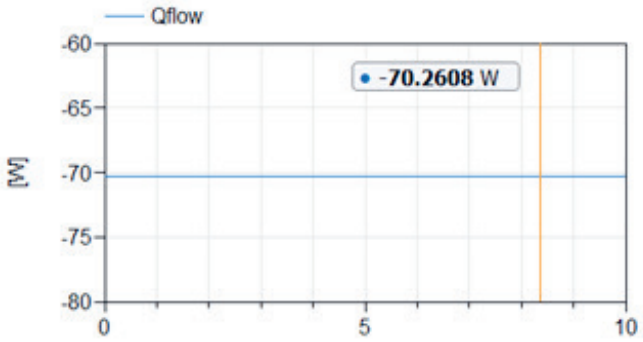


Abb. 2: Ergebnisse der Berechnungen mit dem Nulldimensionalen Modell

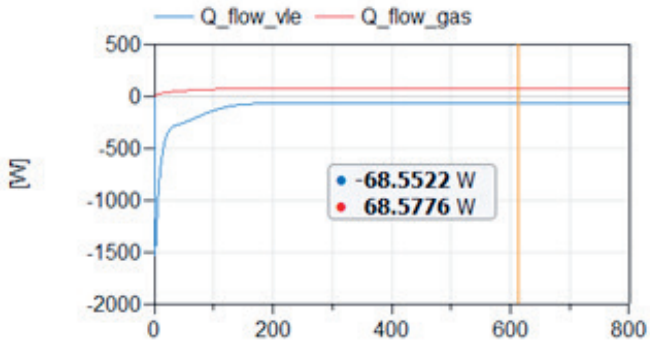


Abb. 3: Ergebnisse des Systemmodells

Diplomand Barmettler Werner
Dozent Dipl. Ing. ETH De Angelis Marco
Projektpartner Sigrist-Photometer AG
Experte Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Interner Wasserkreislauf für Freifallgeräte

Ausgangslage
Die Sigrist-Photometer AG entwickelt, produziert und vertreibt hochwertige optische Messgeräte. Sie werden eingesetzt für die Überprüfung der Trinkwasserqualität, das Nachweisen von Öl in Wasser, das Überwachen der Luftqualität im Verkehr und viele weitere Bereichen.

Die AquaScat 2 Freifallgeräte (Abb. 1) werden häufig für die Überwachung der Trübung in der Trinkwasserfassung eingesetzt. Für diese Messung wird das Photometer permanent mit dem Probenmedium durchflossen. Dieses für die Messung verwendete Wasser darf anschliessend nicht mehr als Trinkwasser verwendet werden.

Ziel der Arbeit ist es, einen internen Wasserkreislauf zu entwickeln, welches den Wasserverbrauch für diese Messung senkt. Die Hauptanforderungen an dieses Kreislaufsystem sind: minimale Reaktionszeit und kein Einfluss auf die Messung des Photometers.

Abb. 1: AquaScat 2 Freifallmessgerät

Vorgehen
Die Arbeit unterteilt sich in drei Phasen: Modellbildung, Entwicklung des Prototyps und die Verifizierung. Mit der Modellbildung werden die wichtigen Parameter ausfindig gemacht und das Ansprechverhalten des Systems beschrieben. Der Prototyp wird iterativ aufgebaut, untersucht und mit den gewonnenen Erkenntnissen optimiert. Ziel dieses Prozesses ist es, ein System zu erhalten, welches eine möglichst kleine Ansprechzeit hat.

Es wurden Tests durchgeführt, welche das Starten des Kreislaufs, das Ansprechverhalten und den Einfluss auf die Messung des Photometers untersuchen.

Ergebnis
Das entwickelte Kreislaufsystem hat eine genügend kurze Ansprechzeit. Die theoretische Sprungantwort ist in Abb. 2 zusehen. Das Kreislaufsystem bringt keinen wesentlichen Einfluss auf die Messung mit sich.

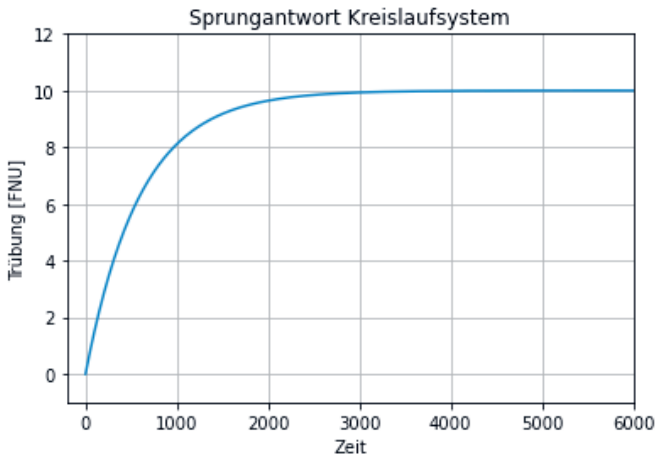


Abb. 2: Theoretische Sprungantwort des Kreislaufsystems

Diplomand Bättig Thomas
Dozent Prof. Dr. Kamps Rolf
Projektpartner Bühler AG
Experte Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Leichtbaukonzept für Getreidesilos

Ausgangslage

Getreidesilos weisen heute mehrheitlich eine runde Querschnittsform auf. Bezüglich Silodimensionen ist eine breite Palette mit unterschiedlichsten Verhältnissen von Durchmesser zu Höhe auf dem Mark erhältlich. Das bestehende Konzept soll in Frage gestellt werden, bezüglich Materialeinsatz und Platzverhältnissen. Darauf aufbauend soll ein Konzept entwickelt werden, wie Silos mit minimalem Materialeinsatz und maximalem Speichervolumen gebaut werden können. Das erstellte Konzept soll auf die Umsetzbarkeit überprüft werden mittels FEM-Analysen.

Vorgehen

Es wurden zuerst vereinfachte Modelle der Silozellen mittels Handrechnungen auf eine Optimierung von Volumen zu Oberfläche untersucht. Für die erweiterten Modelle wurde dasselbe Vorgehen in Matlab angewendet. Daraus wurden Modelle konstruiert, die anschaulich Daten lieferten, um einen Vergleich von Materialverbrauch, Footprint, sowie Aussenfläche anzustellen von verschiedenen Querschnittsformen. Aus der optimalen Geometrie wurde ein Konzept konstruiert und mittels FEM-Analyse in ANSYS auf das Verhalten bei realistischer Krafteinwirkung eines Schüttgutes untersucht.

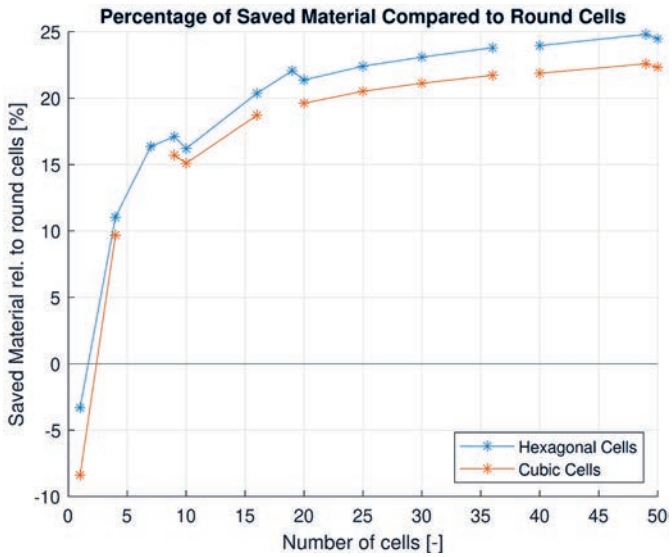


Abb. 1: Prozentuale Materialreduktion von sechseckigen und quadratischen Zellen im Vergleich mit runden Zellen

Ergebnis

Die geometrischen Untersuchungen lieferten wichtige Erkenntnisse darüber, wie der Materialverbrauch bei den bestehenden Silozellen reduziert werden kann. Das erstellte Konzept, welches eine sechseckige Querschnittsform vorsieht, wurde in einer FEM-Analyse mit den auftretenden Kräften belastet. Dabei stellte sich heraus, dass der Vorteil des geringeren Materialverbrauchs von den auftretenden Spannungsspitzen in den Eckbereichen zunichte gemacht wird. Die Durchbiegung der Wände ist nur mit grossem Aufwand kontrollierbar und die auftretenden Spannungen sind in jedem Fall zu gross.

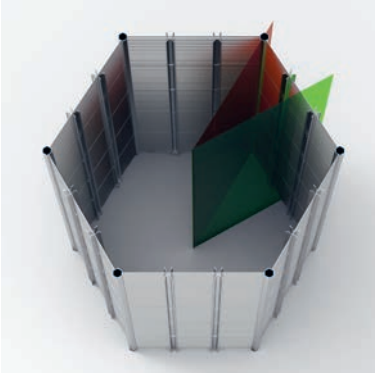


Abb. 2: Untersuchtes Konzept mit eingezeichneten Symmetrieebenen für FEM-Analyse

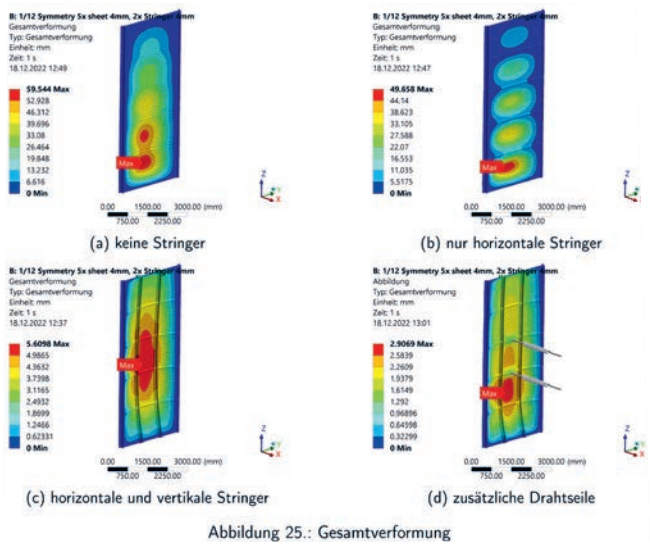


Abb. 3: Wanddurchbiegung unter verschiedenen Versteifungsmassnahmen

Diplomand	Baumeler Martin
Dozent	Prof. Dr. Lodewyks Johann
Projektpartner	EAWAG (Eidg. Wasserforschungsinstitut)
Experte	Dipl. Ing. ETH Knodel Thomas
Themengebiet	Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung einer Messboje

Ausgangslage

Die EAWAG (eidg. Wasserforschungsinstitut) hat den Auftrag erhalten, die Temperaturprofile der Schweizer Gewässer, unter anderem in Seen, zu überwachen. Dazu möchten sie in einer Pilotstudie eine Messboje zur Profilierung bis 40 m Tiefe entwickeln. Im gleichnamigen Industrieprojekt wurde bereits ein Konzept der Messboje erstellt und unter anderem eine TRL-Studie (Technology Readiness Level) gemacht. Der nächste Schritt sah damals gemäss der TRL-Studie vor, eine experimentelle Untersuchung zur induktiven Energieübertragung zwischen der Tauchgondel und dem Schwimmkörper der Messboje durchzuführen.

Ziel dieser Bachelorarbeit war, das Energiemanagement als Gesamtsystem neu zu konzipieren, um eine geeignete Lösung zu finden. Danach sollte weiter nach dem TRL-Verfahren vorgegangen werden, um die Messboje weiterzuentwickeln.

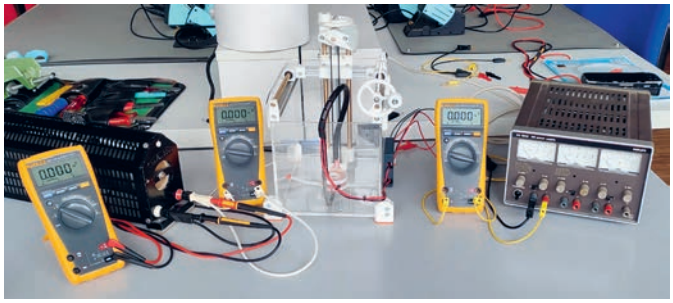


Abb. 1: Prüfstand zur Untersuchung der induktiven Energieübertragung

Vorgehen

Anfänglich wurde das Energiemanagement der Messboje neu konzipiert. Dazu wurden verschiedene Konzepte erstellt und mittels einer Nutzwert- sowie einer Sensitivitätsanalyse die bestmögliche Lösung definiert. Danach wurden bereits die wichtigsten Komponenten des Energiemanagements ausgelegt. Durch ein TRL-Update folgte ein Fokus auf die induktive Energieübertragung in 40 m Tiefe zwischen dem Sekundäranker und der Tauchgondel, die wie ein Aufzug geführt am Ankerkabel durch die Regulierung des Auftriebs auf- und abtaucht. Dazu wurde nicht nur eine umfassende Recherche durchgeführt, sondern auch ein Teststand (Abb. 1) zur experimentellen Untersuchung konstruiert und gebaut. Anschliessend folgten verschiedene Messungen (Abb. 2), um unter anderem den Einfluss von Wasser und weitere Einflüsse auf die Energieübertragung zu untersuchen.

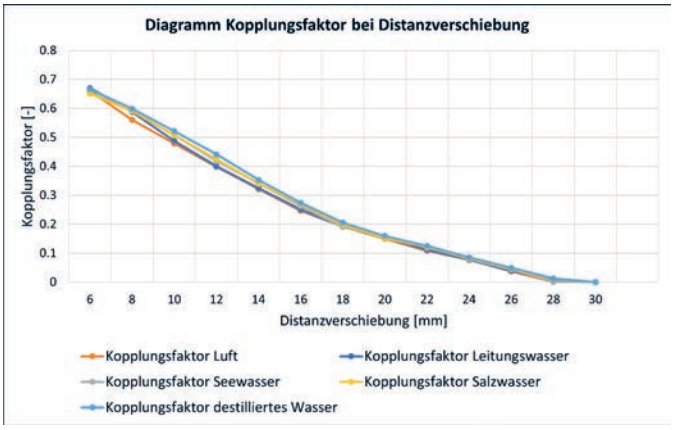
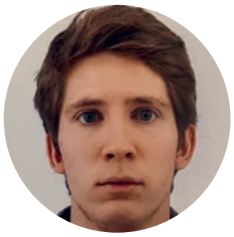


Abb. 2: Experimentelle Untersuchung der induktiven Energieübertragung bei geometrischen Toleranzen und unterschiedlichen Medien

Ergebnis

Durch die experimentelle Untersuchung wurde die Annahme, dass das Wasser keinen nennenswerten Einfluss auf die induktive Energieübertragung hat, bestätigt. Aus den Ergebnissen der Untersuchung konnten konkrete Anforderungen an das induktive Ladesystem gestellt und ein geeignetes Konzept konzipiert werden. Zudem wurde bereits ein umfassender Konstruktionsvorschlag (Abb. 3) erstellt, welcher nun der EAWAG zur Weiterentwicklung der Messboje vorliegt.

Abb. 3: Konstruktionsvorschlag für das induktive Tauchgondelladesystem



Diplomand Bissig Jonas
Dozent Prof. Dr. Lodewyks Johann
Projektpartner Bucher Hydraulics AG
Experte Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Optimierung hydraulischer Ventilsteuerungen

Ausgangslage

Bei Hydraulikventilen ist die Vorsteuerung essenziell, da sie das statische und dynamische Verhalten des ganzen Ventils bestimmen. Das Ziel von Bucher Hydraulics ist es daher, eine Vorsteuerung für ein Proportional-Wegeventil (Abb. 1) zu erreichen, welche ein schwaches Signal in eine möglichst grosse mechanische Leistung übersetzen kann.

Ziel dieser Arbeit ist es ein Funktionsmuster, basierend auf dem Ansatz von Bucher Hydraulics, zu entwickeln. Dieses Funktionsmuster soll dabei aus möglichst vielen bereits vorhandenen Ventilen bestehen und mit neu zu konstruierenden Bauteilen kombiniert werden. Das Funktionsmuster soll auf dem Hydraulikprüfstand von Bucher Hydraulics am Standtort in Neuheim ersten Tests unterzogen werden.

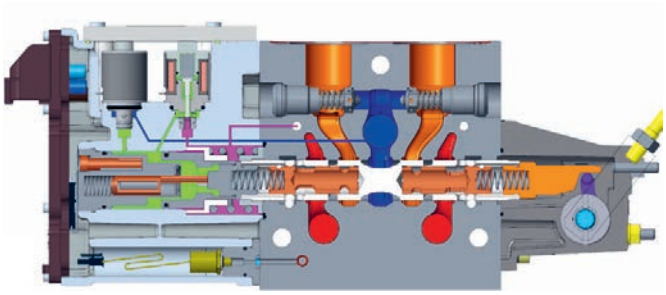


Abb. 1: Proportional-Wegeventile LVS12 von Bucher Hydraulics

Vorgehen

Verschiedene Prinzipien für die Ansteuerung von Wegeventilen sind erarbeitet worden. Die Firma Bucher hat sich für ein Konzept entschieden, welches im CAD-Modell bis ins Detail konstruiert wurde. Aus den CAD-Daten wurden Fertigungszeichnungen erstellt, mit welchen alle benötigten Teile gefertigt und anschliessend montiert wurden. Dieses Funktionsmuster ist zusammen mit dem Proportional-Wegeventil auf einem Prüfstand montiert worden (Abb. 2). Anschliessend sind am Hydraulikprüfstand mit Hilfe von mehreren Sensoren verschiedene Versuche durchgeführt worden.

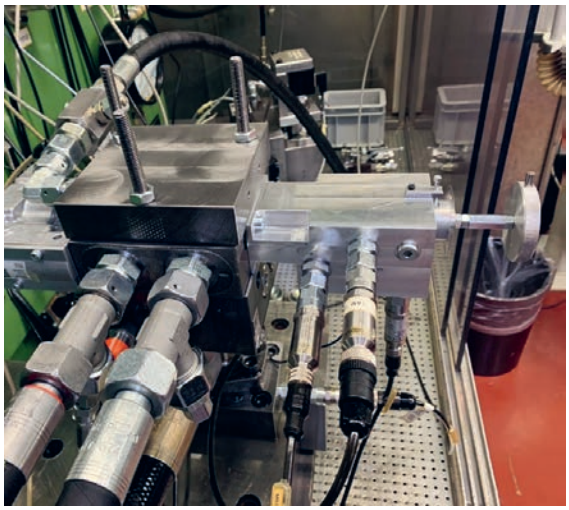


Abb. 2: Funktionsmuster der Vorsteuerung (rechts) am Prüfstand mit Wegeventil

Ergebnis

Mit Hilfe des Funktionsmusters sind verschiedene Versuche durchgeführt worden und anschliessend in Excel Diagramme erstellt worden (Abb. 3), welche ausgewertet wurden. Damit konnte bestätigt werden, dass das überlegte Konzept grundsätzlich so funktioniert wie angenommen.

Abb. 3: Winkel und Weg in Abhängigkeit der Zeit bei einem Versuch

Diplomand	Blaser Manuel
Dozent	Prof. Dr. Kamps Rolf
Projektpartner	Institut IME, CC Mechanische Systeme
Experte	Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Themengebiet	Produktentwicklung & Mechatronik

Messaufbau für eine elektromechanische Fahrwerkshöhenverstellung

Ausgangslage
Im Rahmen einer Industriearbeit wurde ein elektromechanisches Konzept zur Fahrzeughöhenverstellung entwickelt. Mit der Verstell-Einheit kann die Höhe um 50 mm variiert werden.

Die auf dem Markt angebotenen pneumatischen oder hydraulischen Höhenverstell-Systeme weisen den Nachteil auf, dass hierzu zusätzliche Medien wie Druckluft oder Hydraulikflüssigkeit mit entsprechenden Verdichtern notwendig sind. Das entwickelte Konzept benötigt lediglich einen Elektroantrieb, der in die Höhenverstellung integriert wird.

Um die notwendige Antriebsleistung unter den variierenden Reibungsverhältnissen der gesamten Verstell-Einheit sicher auslegen zu können, wurde ein Messaufbau (Abb. 1) entwickelt. Zusätzlich wurde die Elektronik geplant, programmiert und aufgebaut. Mit diesem Messaufbau können alle lastabhängigen Antriebsparameter ermittelt und aufgezeichnet werden. Darüber hinaus wird mit dem Aufbau das Gesamtsystem unter Last validiert.

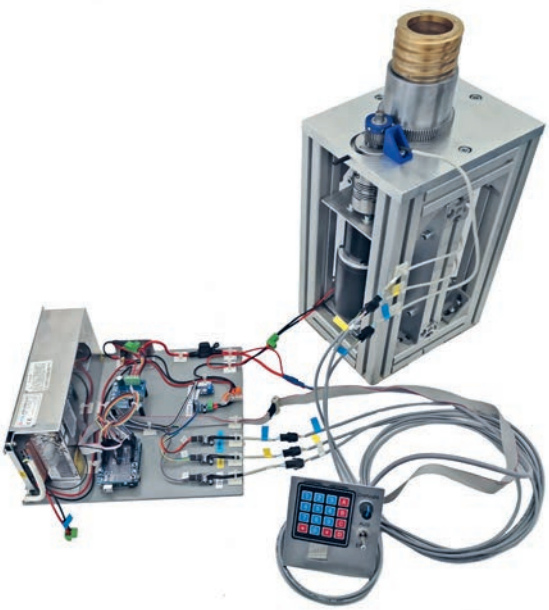


Abb. 1: Kompletter Messaufbau mit Netzgerät, Mikrocontroller, H-Brücke, Elektroantrieb und mechanischer Verstell-Einheit

Vorgehen
Eine Höhenverstell-Einheit wird auf dem Prüfaufbau montiert. Mit einer Zug-Druck Prüfmaschine werden verschieden grosse Drucklasten aufgebracht. Das simuliert realistische Lastfälle.

Um die Genauigkeit vom Messaufbau zu bestimmen, werden Versuchs- und Kalibriermessungen durchgeführt. Parallel dazu werden die Messdaten mit einem Multimeter und einem Zangenamperemeter überprüft. Mit einem Drehmomentschlüssel wird das notwendige, lastabhängige Drehmoment für die Höhenverstellung gemessen. Die Messdaten werden auf Plausibilität sowie Toleranzen betrachtet und ausgewertet. Zusätzlich wird die Messabweichung des Messaufbaus berechnet.

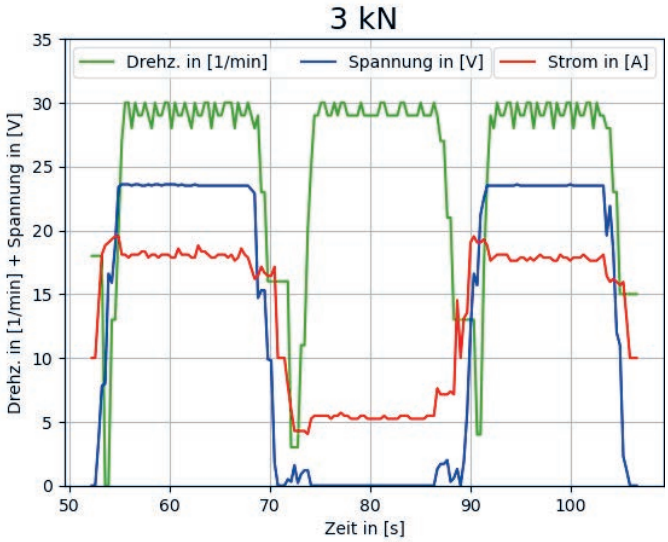


Abb. 2: Aufgezeichnete Antriebsparameter bei einer Belastung von 3 kN

Ergebnis
In Abb. 2 sind die geplotteten Messwerte für 3 kN Belastung dargestellt. Über die Messreihen lässt sich die Antriebsleistung durch die Spannungs- und Strommessungen, abhängig von der Last, berechnen. Zusammen mit der Drehzahl vom Antrieb wird die Leistung abhängig von der Verstell-Zeit und der Belastungssituation berechnet.

Die Ergebnisse dienen zur Absicherung der Antriebsauslegung unter allen auftretenden, realistischen Belastungs- und Reibungsverhältnissen.

Diplomand Brügger Simon Alexander
Dozent Prof. Bärtsch René
Projektpartner Fatzer AG, Romanshorn
Experte Dipl. Ing. ETH Knodel Thomas
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung eines Messverfahrens zur Überwachung eines Seilspleisses und Konstruktion eines Versuchsaufbaus für den im Seil verbauten Sensor

Ausgangslage
Ein Langspleiss wird verwendet, um die offenen Enden eines Stahlseils kraftschlüssig zu verbinden. Der führende Hersteller von Seilbahnseilen, Fatzer AG, möchte den Zustand des Langspleisses im Betrieb überwachen. Dies geschieht durch die Messung des Abstands der beiden gegenüberliegenden Einstecklitzen. Das Ziel der Arbeit ist es, einen ursprünglich passiven in einen aktiven Sensor umzuwandeln und ihn so anzupassen, dass Oszillator und Batterie im beschränkten Bauraum Platz finden. Unabhängig von dieser Lösung ist ein Versuchsaufbau mit einem Seilmuster zu entwerfen und an der HSLU aufzubauen.

Ergebnis
Der entwickelte Sensor ist in der Lage eine Abstandsänderung zwischen den Einstecklitzen in einem Bereich von 0 - 20 mm zu messen. Dazu wurden die Federkonstanten der eingebauten Federn und der Leiterplatte (PCB) abgestimmt, so dass sich der Bereich mit dem aufgedruckten Resonanzkörper um 1 % dehnt. Das Ausgangssignal (24 GHz) ist linear abhängig von der Dehnung. Durch Messung dieses Signals kann der Seilspleiss beurteilt werden. Der Sensor findet in einem Förderseil > Ø 50 mm Platz. Die Befestigung wird mit einem den Kerndraht umschliessenden Klemmelement realisiert.

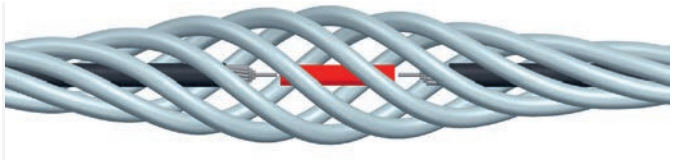


Abb. 1: Visualisierung des offenen Seilspleiss, Bauraum des Sensors in Rot. Einstecklitzen mit freigelegtem Kerndraht in Schwarz

Abb. 2: Sensor zu Messung des Abstands zwischen den beiden Einstecklitzen. Der innere Aufbau kann noch nicht publiziert werden

Vorgehen
In der ersten Phase wurde die Kinematik des Versuchsaufbaus und die benötigten Bauteile berechnet. Sämtliche Fertigungsteile wurden konstruiert und mit den benötigten Einkaufsteile bestellt. In der Fertigungszeit konnte der neue Sensor entwickelt werden. Dabei war die Herausforderung, den signalerzeugenden Print (in Zusammenarbeit mit dem Institut Elektrotechnik) so auszulegen, dass er sich im Messbereich im richtigen Masse dehnt. Zudem wurde das verfügbare Volumen für die Batterie maximiert. Die letzte Projektphase bestand aus dem Zusammenbau und der Inbetriebnahme des Versuchsaufbaus.

Mit dem Versuchsaufbau wurde die Möglichkeit geschaffen, den Sensor mit hoher Wiederholgenauigkeit auszulesen. Der Sensor wird in ein Förderseil eingebaut, so dass das Signal durch die umliegenden Aussenlitzen in einem realitätsnahen Mass gedämpft wird. Zudem gibt es eine Relativbewegung von 3 m/s zwischen dem Sensor und der Hornantenne, die im Einsatz durch das durch die Station laufende Seil erzeugt würde. Die einstellbare Halterung dieser Hornantenne ist auf einem Schlitten montiert und wird mit einem Elektromotor über einen Zahnriemen angetrieben, die Positionsbestimmung findet mit einem Encoder (1024 Impulse) statt. Mit einer Umlenkung kann der Sensor mit einem Gewicht auf Zug belastet werden.

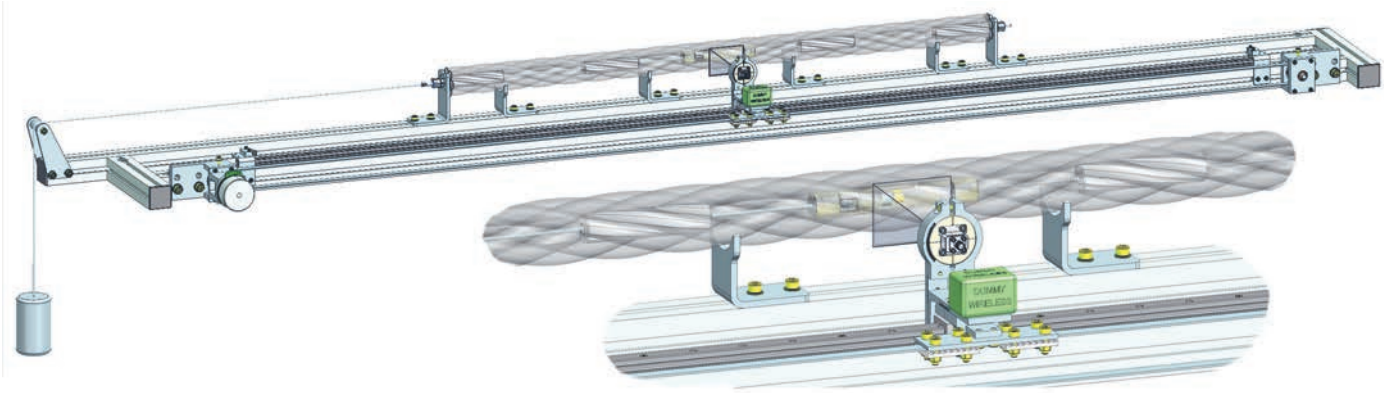


Abb. 3: Versuchsaufbau. Gesamtlänge 2.2 m

Diplomand Brun Joshua
Dozent Prof. Dr. Müller Ulf Christian
Projektpartner Institut IME, CC Fluidmechanik und numerische Methoden
Experte Dr. Schlienger Joel
Themengebiet Energie, Fluide und Prozesse

Model-Based Reinforcement Learning mit dynamischen Systemmodellen

Ausgangslage

Das Kompetenzzentrum für Fluidmechanik und numerische Methoden (FNUM) beschäftigt sich mit der dynamischen Modellierung von thermofluiddynamischen Anwendungen. Dazu wird die gleichungsbasierte und objektorientierte Programmiersprache Modelica verwendet. Mit dieser können physikalische Systemmodelle virtuell simuliert werden. Im Zuge der Bachelorarbeit soll ein Python-Programm geschrieben werden, welches in der Lage ist, die Regelung eines Modelica-Systemmodells selbstständig mit einem Model-Based Reinforcement Learning Algorithmus zu erlernen.

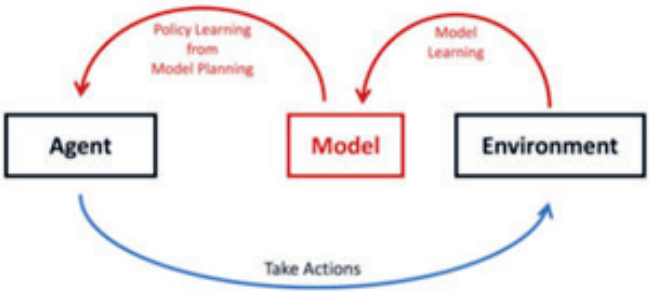


Abb. 1: Aufbau eines Model-Based Reinforcement Learning Algorithmus nach Dyna-Architektur

Vorgehen

Nach einem ersten Versuch, ein Model-Based Reinforcement Algorithmen anzuwenden, soll mithilfe einer Toolchain ein identischer Algorithmus zum Erlernen der Regelung eines simpleren Modelica Systemmodells verwendet werden. Folgend wird dies auch für einen Showcase mit dem Modelicamodell eines Doppelpendels gemacht. Da dies bereits mit anderen Algorithmen gemacht wurde, können anschliessend die beiden Ansätze Model-Based Reinforcement Learning und Model-Free Reinforcement Learning miteinander verglichen werden, um so zu eruieren, welcher Typ Algorithmus wann am besten eingesetzt wird.

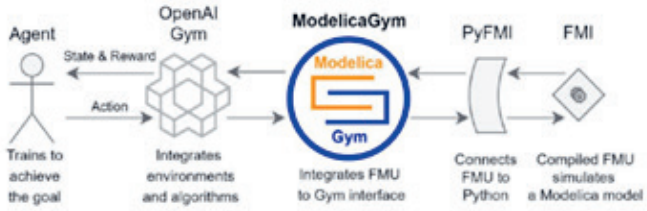


Abb. 2: Toolchain von der Modelicasimulation bis zum Model-Based Reinforcement Learning Algorithmus

Ergebnis

Im Showcase musste der Algorithmus ein Doppelpendel durch Aufbringen eines Drehmoments so balancieren, dass es aufrecht steht. Ein Model-Based Reinforcement Learning Algorithmus ist dateneffizienter als ein Model-Free Reinforcement Learning Algorithmus. Dies führt zu einem schnelleren Lernerfolg in der Trainingsphase. Ein Model-Based Reinforcement Learning Algorithmus benötigt also weniger Zeitschritte, um eine gute Lösung zu generieren. Der Lernerfolg dieses Algorithmus stagniert allerdings im Verlauf der Trainingsphase auf einem tieferen Niveau als das mit einem Model-Free Reinforcement Learning Algorithmus erreicht werden kann. Es gilt nun abzuwägen, worauf der Fokus gelegt wird, falls es sich um ein komplexes Environment handelt. Der Model-Based Reinforcement Learning Algorithmus hat das Potenzial, ein Problem viel schneller zu lösen. Der Model-Free Reinforcement Learning Algorithmus aber kann mit einer ausführlicheren Trainingsphase eine bessere Performance erreichen.

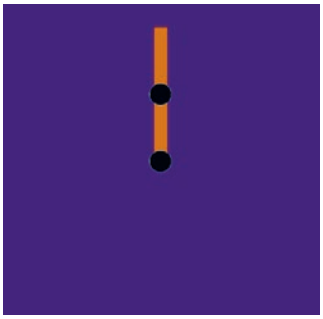


Abb. 3: Visualisierung der Zielposition aus dem Versuch mit einem Modelica-Doppelpendel

Diplomandin Bucher Andrea
Dozent Prof. Dr. Lodewyks Johann
Projektpartner Bucher Ernte-Technik AG
Experte Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Minimierung von Leistungsverlusten an Schnitzeltrockner-Schubbodenantrieb

Ausgangslage

Die Bucher Ernte-Technik AG ist ein kleiner, im Prototypenbau tätiger Familienbetrieb. Für den Einsatz in einer Trocknungsanlage für Holzhackschnitzel konnte sie den hydraulischen Antrieb für das Fördersystem der Schnitzel realisieren. Die Schnitzel werden kontinuierlich mittels Schubboden langsam durch den Trockner transportiert und dabei mit einem Luftstrom getrocknet (Abb. 1). Die Steuerung der Ventile, welche die Hydraulikzylinder des Schubbodens steuern, wird mechanisch umgesetzt (Abb. 2). Eine logische Abfolge der Zylinderbewegung, welche eine kontinuierliche Förderung garantiert, wird dabei mittels der Dimensionen des eingesetzten Zylinders, eines Volumenstromregelventils und eines 4/2-Wegeventils mit Eilgang realisiert (Abb 3, links). Durch den Eilgang kann der Zylinder mit dem gleichen Volumenstrom in der vorgegebenen Zeit ein- und ausgefahren werden. Der Eilgang bedingt jedoch hohe Drücke im System, welche zu hohen Leistungsverlusten führen. Im Rahmen dieser Arbeit soll eine Steuerung entwickelt werden, welche diese Leistungsverluste minimiert.

Abb. 1: Leere Trocknungskammer mit Schubboden, der aus Schlitzbrückenblechen besteht

Vorgehen

Zu Beginn wird Recherche über alternative Trocknungssysteme und Schubbodenarten betrieben. Diese stellen sich jedoch für den gefragten Einsatz als nicht geeignet heraus, weshalb nach Lösungen gesucht wird, wie das bestehende System mit möglichst geringem Aufwand optimiert werden kann. Dazu wird vorgängig der bestehende Schubbodenantrieb einer ausführlichen Analyse unterzogen und Gründe für die eingesetzte Hydraulikschaltung festgehalten. Auf Basis dieser Kenntnisse werden neue Schaltungen entwickelt, welche den Anforderungen genügen. Durch die Elimination des Eilganges können die hohen Drücke gesenkt werden. Dies bedingt jedoch, dass zwei verschiedene Volumenströme für das Ein- und Ausfahren des Zylinders notwendig sind.

Abb. 2: Sicht auf den unter dem Schubboden liegenden Antrieb

Ergebnis

Die Beste der entwickelten Lösungen besteht neu aus zwei Wegeventilen und zwei Volumenstromregelventilen (Abb. 3, rechts). Der Wirkungsgrad kann dadurch von rund 45 % auf 79 % gesteigert werden. Da Volumenstromregelventile zwingend Druckverluste über das Ventil benötigen, kann der Wirkungsgrad nicht noch besser ausfallen. Diese Ventile sind aber für die Funktionalität des Schubbodens von hoher Wichtigkeit.

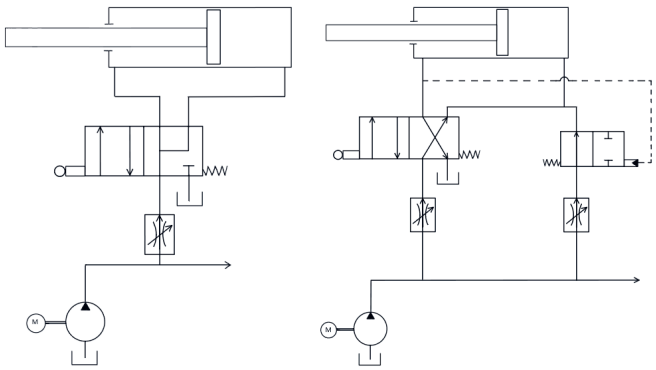


Abb. 3: Hydraulikschema der Ausgangslage (links) und der entwickelten Lösung (rechts)

Diplomand Bühler Michael
Dozent Prof. Dr. Kamps Rolf
Projektpartner Bühler AG
Experte Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Konzept und Funktionsmuster zum Sensoreinbau in Getreidereiniger

Ausgangslage
Um Getreide lagern zu können, wird es vor der Einlagerung von Fremdkörpern, dem sogenannten Besatz, getrennt. In der Praxis erfolgt die Reinigung hauptsächlich über die Siebklassierung, wobei die Anlagen jeweils auf das zu reinigende Getreide umgerüstet werden müssen.

Ein neues Konzept zur Getreidereinigung ist die Luftklassierung, bei der das Getreide mithilfe von Luftströmungen in einem «Windsichter» klassiert wird. Dies funktioniert wie folgt: Das Getreide wird in einem laminaren Luftstrom als dünner Massenstrom eingebracht. Es wird dann entsprechend seiner Dichte und Grösse in verschiedene Fraktionen klassiert. Die massereicheren Körner und Steine werden vom Luftstrom weniger weit getragen als masseärmere Körner und Stroh. Durch den Luftklassierer können unterschiedliche Getreidesorten gereinigt und klassiert werden, ohne dass mechanische Umbauten notwendig werden.

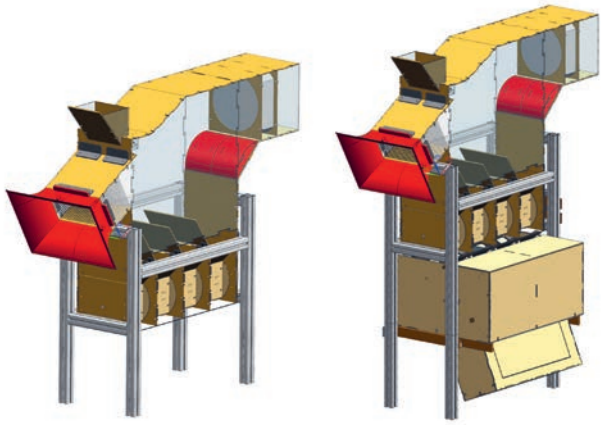


Abb. 1: Links: Vorhandener Luftklassierer;
Rechts: Luftklassierer mit Bilderkennungseinheit

Das Ziel dieser Bachelor-Thesis ist, ein Konzept für die Integration einer Bilderkennungseinheit in ein bestehendes Getreidereiniger-Modell zu entwickeln und umzusetzen. Mithilfe der Bilderkennungseinheit sollen die zum Betrieb benötigten Parameter automatisch und fortwährend mittels Analyse der Trennschärfe optimiert werden. Alle Systemfunktionen werden im Remote-Betrieb eingerichtet, indem die Software auf unabhängigen Servern gehostet werden. Auch die trainierte Bilderkennungssoftware wird auf einem Server gehostet.

Vorgehen
Für die Konzeptentwicklung und Konstruktion wurde systematisch nach der VDI-Richtlinie 2221 gearbeitet. Verschiedene Lösungsvorschläge wurden erarbeitet, bewertet und zu Grobkonzepten weiterentwickelt. Zur Absicherung der gefundenen Lösungsvorschläge wurden Funktionsmuster und Prototypen erstellt, um die Funktionalität abzusichern. In Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Elektrotechnik wurde die Bilderkennungseinheit als interdisziplinäre Arbeit in den vorhandenen Luftklassierer eingebaut, in Betrieb genommen und getestet.

Ergebnis
Die Bildüberwachung wurde erfolgreich in den vorhandenen Modell-Luftklassierer integriert und stellt die Grundlage für einen autonomen Betrieb dar. Die Ergebnisse zeigen, dass die vorhandene Anlage in der Lage ist, die Trennschärfe von Schüttgütern zu analysieren. Der Bilderkennungsalgorithmus erkennt die Bestandteile der Probe zuverlässig mit den Bildaufnahmen des fliessenden Schüttguts. Abb. 2 zeigt die Resultate einer Bildanalyse von einem mit der Anlage aufgenommenen Bild. Der Algorithmus hat die Anzahl Weizen, Steine und Strohhalme richtig erkannt.

Abb. 2: Resultate der Bilderkennung

Diplomand Burri Sven
Dozent Dipl. Ing. ETH De Angelis Marco
Projektpartner Afag Automation AG
Experte Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Vakuumgreifer für Smart-Rotationsmodul

Ausgangslage

Die Firma Afag Automation AG entwickelt und produziert Komponenten für die Montageautomation. Drehen, Greifen, lineare Bewegungen und eine Vielzahl von Kombinationen daraus lösen verschiedenste Aufgaben. Ein im Jahr 2022 im Markt eingeführtes Produkt in diesem Bereich ist das Smart-Rotationsmodul SREH-50-IOL, was sich durch die kompakte Bauweise und insbesondere durch ihre embedded Elektronik auf dem Markt einzigartig macht. Das SREH-50-IOL besitzt eine Hohlwelle mit Durchmesser 8.5 mm und wird mit IO-Link angesteuert.

Das SREH-50-IOL soll mit einem Vakuumgreifer ausgestattet werden. Gerade in Pick and Place Applikationen wird eine solche Lösung vermisst. Es soll keine Einschränkungen in der Drehbewegung (>360°) geben. Zusätzlich wird gewünscht, dass mit dem Adapter auch drei Baugrössen der Präzisionsgreifer der Afag betrieben werden können. Für diese Zusatzaufgabe sind zwei Druckluftkanäle (öffnen/schliessen) nötig.

Abb. 1: Smart Rotations Modul SREH-50-IOL

Vorgehen

Das Projekt ist in drei Phasen unterteilt. Analyse, Konzeptentwicklung, Bau eines Funktionsmusters.

Nach einer Marktforschung und Analyse der Aufgabe werden die genauen Anforderungen in Absprache mit der Auftraggeberin definiert. Anschliessend werden mögliche Lösungsvarianten erarbeitet und einander gegenübergestellt. Das Erarbeiten einer geeigneten Lösung für eine zweikanalige Drehdurchführung stellt sich als Hauptaufgabe heraus. Nach deren Evaluation wird ein Konzept erarbeitet. Das Auslegen von Komponenten wie Lagerungen und Dichtungen sind von zentraler Bedeutung. Anschliessend auf die Freigabe des Konzeptes werden die Fertigungsteile in Auftrag gegeben, um ein funktionsfähiger Prototyp herstellen zu können.

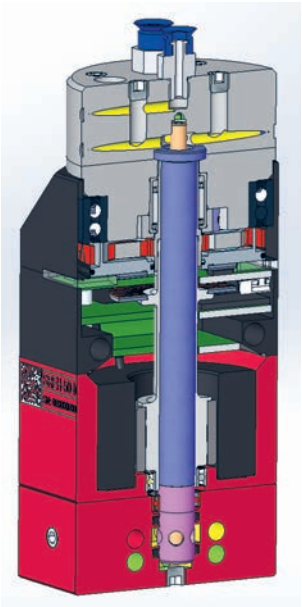


Abb. 2: Konzept Vakuumgreifer

Ergebnis

Der Prototyp erfüllt alle gestellten Anforderungen und löst die gewünschten Aufgaben. Die Durchführung der Druckleitungen ist auch bei 6 bar dicht. Für das Lösen von Vakuumgreifaufgaben können am Flansch des Adapters bis zu neun Vakuumsauger in der gewünschten Anordnung angebracht werden, um unterschiedlichste Teile zu greifen. Auch das Betreiben der Präzisionsgreifer ist mit demselben Adapter möglich. Somit können mit dem entwickelten Adapter Drehaufgaben ohne Einschränkungen im Drehwinkel (>360°) gelöst werden.

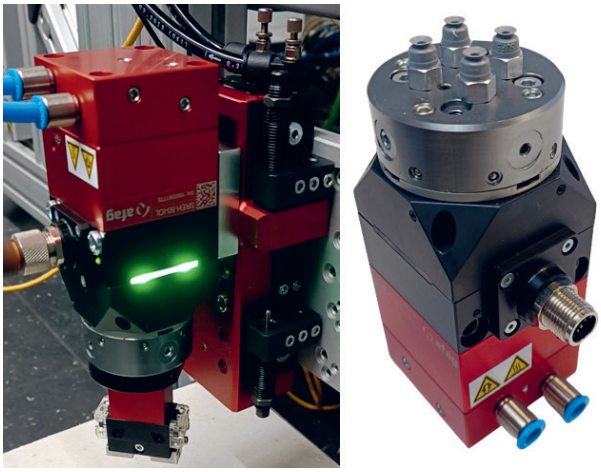


Abb. 3: Prototyp Vakuumgreifer für SREH-50-IOL

Diplomand Eichenberger Max
Dozent Prof. Bärtsch René
Projektpartner Makies AG
Experte Dipl. Ing. ETH Knodel Thomas
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Festigkeitsanalyse Abdeckung Kieswagen

Ausgangslage

Die Firma Makies AG zählt zu den führenden Unternehmen im Kanton Luzern in den Bereichen Kies, Beton und Transporte. Sie transportiert Kies und Brechsand aus der Kiesgrube in Zell unter anderem mit der firmeneigenen Flotte vierachsiger Schüttgutwagen vom Typ Talbot-53. Beim Transport von trockenem Brechsand wurde festgestellt, dass es bei trockenen Umgebungsbedingungen zu Abwehungen kommt. Dies führte vor allem beim Kreuzen von Personenzügen oder auch bei der Durchfahrt von Bahnhöfen zu Reklamationen.

Um dieses Problem zu lösen, wurde in einem vorhergehenden Industrieprojekt der Hochschule Luzern ein Konzept für eine seitlich wegklappbare Abdeckung (Abb. 1) entwickelt.

Das Ziel der aktuellen Bachelorarbeit besteht darin, die Festigkeit der Abdeckung aus Aluminium sowie deren Befestigungen am Wagenkasten aus Stahl nachzuweisen.

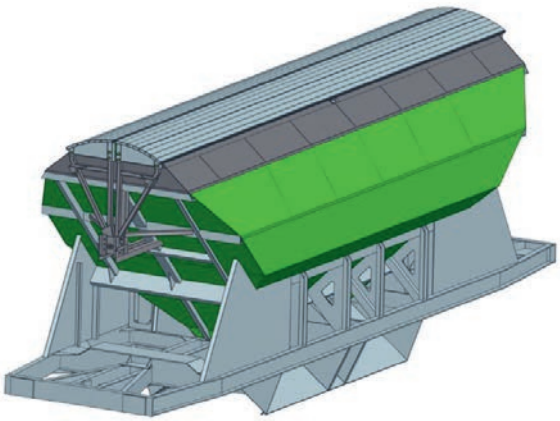


Abb. 1: CAD-Modell seitlich wegklappbare Abdeckung

Vorgehen

Die Berechnung der vorhandenen Spannungen erfolgt mittels der Finiten Elemente Methode. Die Lastfälle werden mithilfe der Norm für Festigkeitsanforderungen an Güterwagen SN EN 12663-2 definiert. Die zulässigen Spannungen werden gemäss den aktuellen DVS-Richtlinien für Schienenfahrzeuge ermittelt und mit den vorhandenen Spannungen verglichen. Mittels einer Literaturrecherche werden verschiedene Konzepte zur Beurteilung von Schweissnähten verglichen. Die Bewertung der Schweissnähte erfolgt anhand des Nennspannungskonzepts.

Für die Analyse wird das Gesamtsystem in zwei Teilsysteme aufgeteilt. System 2 besteht aus dem Wagenkasten mit dem angeschweissten Aufsatz (Abb. 2) und System 1 aus dem beweglichen Teil der Abdeckung.

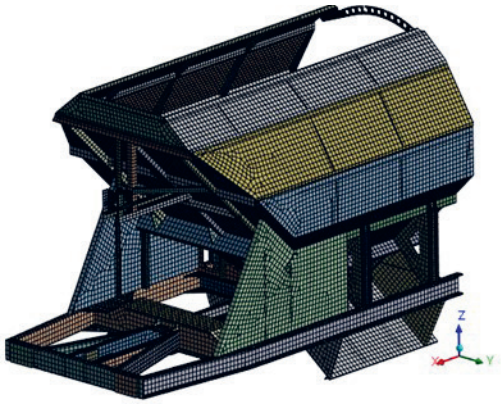


Abb. 2: Vernetzung Halbmodell System 2

Ergebnis

Die Analyse von System 1 zeigt, dass an allen kritischen Stellen die Auslastung unter Eins liegt. Daher konnte der Festigkeitsnachweis für den beweglichen Teil der Abdeckung erbracht werden. (Abb. 3)

Aufgrund der hohen Auslastungen von bis zu 350 % im Ermüdungslastfall der lateralen Beschleunigung kann kein Festigkeitsnachweis des Wagenkastens erbracht werden. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass die Auslastungen, durch die Modifizierung des Kieswagens, nicht signifikant erhöht werden.

Als weiteres Vorgehen wird empfohlen, mit dem Bundesamt für Verkehr abzuklären, welche Nachweise für eine Betriebsbewilligung erforderlich sind.

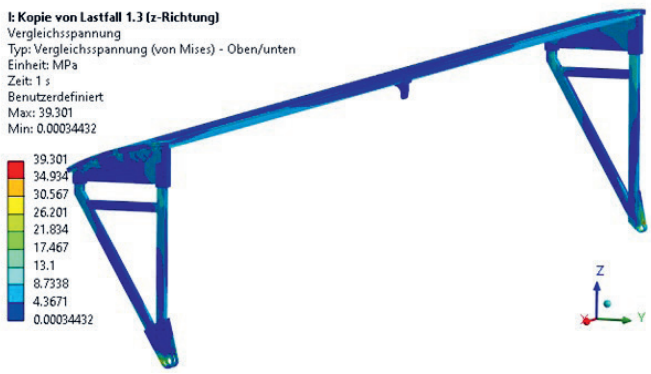


Abb. 3: Vergleichsspannung nach Von Mises, 1g in z-Richtung, System 1

Diplomand Eicher Claudio
Dozent Prof. Dr. Worlitschek Jörg
Projektpartner Cowa Thermal Solutions AG
Experte Dr. Lieball Kai
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

Auslegung des Latentwärmespeichermoduls Compact Cell

Ausgangslage
Der Anteil an Sonnenenergie in der Schweiz nimmt immer mehr zu. Im Jahr 2021 wurde gemäss dem Bundesamt für Energie ein Zuwachs von 43 % im Photovoltaikbau gemessen. Das Problem ist jedoch, dass Energie am Tag produziert, aber mehrheitlich in der Nacht gebraucht wird. Die Cowa Thermal Solutions AG hat sich zum Ziel gesetzt, das Heizen und die Brauchwarmwasseraufbereitung nachhaltig zu gestalten. Sie will dies ermöglichen in dem sie einen latenten Wärmespeicher mit einem Phasenwechselmaterial (PCM) herstellt. In einem PCM kann mehr Energie gespeichert werden als in einem konventionellen sensiblen Wasserwärmespeicher. Somit ist ein Latentwärmespeicher ein idealer Speicher für das Aufheizen von Brauchwarmwasser.

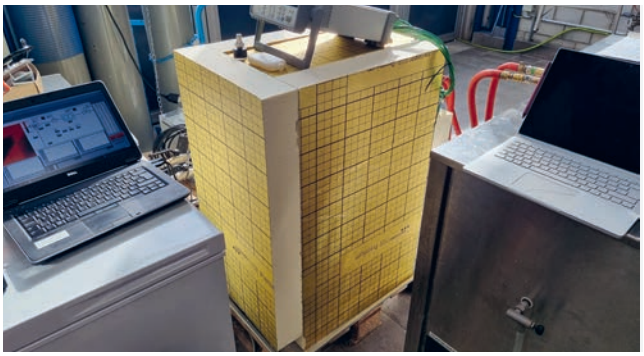


Abb. 1: Die Compact Cell Version 1, eingepackt in das Dämmmaterial PIR

Seit Januar 2022 entwickelt Cowa Thermal Solutions AG ein kompaktes Latentwärmespeichermodul für die Aufbereitung von Trinkwarmwasser. Ein Prototyp, zu sehen in Abb. 1, wurde bereits ausgelegt, gefertigt und getestet und der proof-of-concept konnte erreicht werden. Dieser Prototyp hat ein linear verschalteter Wärmeübertrager. Ziel dieser Arbeit ist es ein zweiter Prototyp, welcher einen diagonal verschalteten Wärmeübertrager hat, zu bauen und zu testen. Dazu wird eine umfangreiche Messkampagne durchgeführt in welcher beide Zellen miteinander verglichen werden. Zusätzlich soll ein theoretisches Modell entwickelt werden.

Vorgehen
Zu Beginn der Arbeit werden die theoretischen Grundlagen zu Latentwärmespeichern erarbeitet. Während dem Erlernen der theoretischen Grundlagen werden Experimente mit der vorhandenen Compact Cell durchgeführt. Dabei wird der Speicher mithilfe eines Thermostats erwärmt und danach bei vorgegebenem Massenstrom und Ausgangstemperatur entladen. Somit ergeben sich diverse Profile, welche dann in einem nächsten Schritt mit den Profilen der zweiten Compact Cell (CC) verglichen werden können. Dadurch sollte erkennbar sein, welche der beiden Compact Cells effizienter ist. Zu guter Letzt soll ein Programm erarbeitet werden, mit welchem die Dimensionen des Wärmeübertragers annäherungsweise errechnet werden können.

Ergebnis
Wie sich herausstellt, ist die zweite Version der Compact Cell weniger effektiv im Bereich der Wärmeübertragung und der Wärmespeicherung. Je dicker die Schicht des PCMs wird, desto schlechter wird die Wärmeübertragung. Somit kann die Energie des flüssigen PCMs nicht effizient genutzt werden. Da die zweite Version eine grössere Distanz zwischen dem Lade- und Entladekreislauf hat, ist die Wärmeübertragung schlechter als in der ersten Version. In Abb. 2 erkennt man den Erstarrungsprozess. Sobald der Entladekreislauf komplett erstarrt ist, was im Bild ganz rechts zu sehen ist, nimmt der Wärmedurchfluss drastisch ab. Die Distanz zwischen den Kreisläufen in der ersten Version ist geringer, somit kann die benötigte Energie länger abgegeben werden.

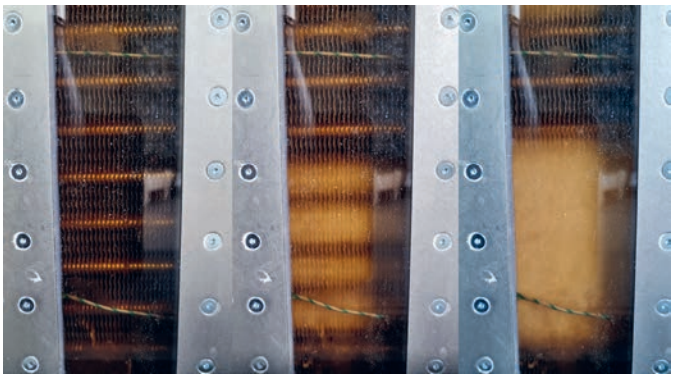


Abb. 2: Ein Ausschnitt der Compact Cell Version 2 in verschiedenen Stadien des Phasenwechsels

Das Simulationsprogramm kann die übertragene Wärme auf ungefähr ± 5 % genau berechnen und somit genutzt werden, um die Compact Cell auszulegen. Der Cowa wird empfohlen zum Design der ersten Compact Cell zurückzukehren. Die lineare Verschaltung hat den Nachteil, dass ein grösseres Totvolumen entsteht. Dieses kann jedoch verringert werden in dem man den Wärmeübertrager anders in der Zelle orientiert. Dazu wird empfohlen weiter am Simulationsprogramm zu arbeiten. Mit mehr Zeit und Implementierung von NOMAD, einer Blackbox Optimisierungssoftware, könnte ein effizienteres Simulationsprogramm entwickelt werden, welches die notwendige Anzahl von Prototypen verringern kann.

Diplomand Estermann Patrick
Dozent Prof. Dr. Fischer Ludger Josef
Projektpartner ADES
Experte Dr. Lieball Kai
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

Entwicklung eines Solarkochherdes mit Latentwärmespeicher

Ausgangslage
Die "Association pour le Développement de l'Energie Solaire" (ADES) ist eine Nichtregierungsorganisation, welche sich für die Erhaltung der Lebensgrundlagen auf Madagaskar einsetzt. Dies, da auf Madagaskar bereits 90 % der ursprünglichen Waldflächen abgeholzt wurden. Durch den Einsatz von Solar- und Energiesparkochern senken sie den Verbrauch von Brennmaterialien wie Holz (Abb. 1). Langfristig wird aber eine Lösung benötigt, welche kein Brennmaterial verbraucht. Deshalb wird in dieser Arbeit ein Lösungskonzept für ein Solarkochherd mit Latentwärmespeicher entwickelt, mit welchem das Kochen ohne Brennmaterial möglich ist. Durch die Verwendung eines Latentwärmespeichers kann die tagsüber verfügbare Sonnenenergie abends zum Kochen genutzt werden.

Abb. 1: Solar- und Energiesparkocher von ADES (Quelle: ADES)

Vorgehen
Auf Basis einer Technologierecherche wurden verschiedene Lösungskonzepte erarbeitet und bewertet. Das geeignetste Lösungskonzept wurde detailliert ausgearbeitet und ein Funktionsmuster aufgebaut (Abb. 3). Mit dem Funktionsmuster wurden diverse Tests durchgeführt, bei welchen das Temperaturverhalten gemessen wurde, um so die ausgearbeitete Lösung abschliessend zu beurteilen und zu bewerten.

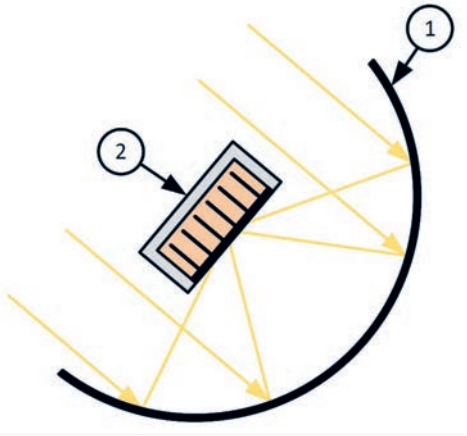


Abb. 2: Prinzipskizze der ausgearbeiteten Lösung mit Parabolspiegel (1) und Solarkochherd (2)

Ergebnis
Bei der ausgearbeiteten Lösung wird der Latentwärmespeicher des Solarkochherds mit einem Parabolspiegel beladen (Abb. 2). Im Latentwärmespeicher wird der Zuckeralkohol D-Mannitol als Speichermaterial genutzt. Durch Tests wurde festgestellt, dass das D-Mannitol für die vorgesehene Anwendung ungeeignet ist. Dies aus dem Grund, da sich im Speicher-Behälter des Solarkochherds Wasser gebildet hat und die starke Unterkühlung von D-Mannitol eine Wärmeabgabe auf einem deutlich tieferen Temperaturniveau als der Schmelztemperatur zur Folge hatte. Das Wasser entstand durch die Degradation von D-Mannitol. Durch das Wasser bildet sich bei der Erwärmung Wasserdampf, wodurch sich im Speicher-Behälter des Solarkochherds Druck aufbaut. Deshalb wird empfohlen, für den Aufbau eines nächsten Solarkochherds mit Latentwärmespeicher kein Zuckeralkohol zu verwenden, sondern die Salzmischung Solar Salt, welche eine geringe Unterkühlung aufweist.

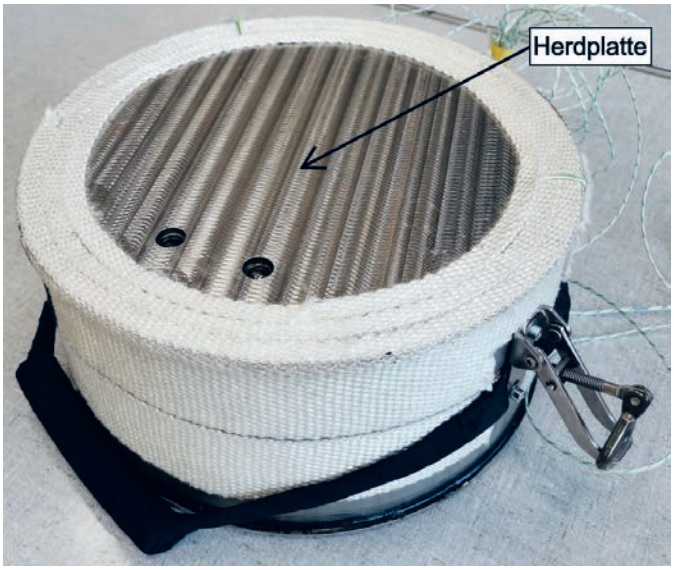


Abb. 3: Funktionsmuster des Solarkochherds mit Latentwärmespeicher, welcher sich unter der Herdplatte befindet

Diplomand Felder Andreas
Dozent Dipl. Ing. ETH De Angelis Marco
Projektpartner Schleuniger AG
Experte Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Neukonstruktion Transferantrieb

Ausgangslage

Die Firma Schleuniger (2022 mit Komax fusioniert) hat vor einigen Jahren ein Entwicklungsprojekt gestartet, welches die bisherige Konfektionsmaschine für Datenleiter-Kabel (SHU) verbessern soll. Das Ziel schneller, billiger und besser mit der neu entstandenen S50-Maschine (Abb. 1) zu werden, hat man leider verfehlt. Der hauptsächliche Unterschied der beiden Maschinen liegt technisch gesehen im Transfersystem, welches die grössten Probleme bereitet.

Ziel der Arbeit war es, die entschiedene Konzeptlösung (Abb. 2) aus der vorherigen Industriearbeit zu realisieren, welche den Anforderungen des Lastenheftes entspricht. Dabei sollen mit entsprechenden Berechnungen alle technischen Komponenten ausgelegt werden. Mit Hilfe von FEM-Analysen sollen die Konstruktionen geprüft und validiert werden. Nach dem Abschluss dieser Arbeit soll mit wenig zusätzlichem Aufwand ein erster Prototyp bestellt und unter realen Bedingungen getestet werden.

Abb. 1: S50-Maschine von Schleuniger AG

Vorgehen

Der Antrieb der Werkstückträger wird mit einem Zahnriemen übertragen. Als Führung werden runde Führungsstangen eingesetzt. Im Vorlauf kann der Werkstückträger falls notwendig zentriert werden, um die Genauigkeit noch weiter zu erhöhen. Eine Zustellung ermöglicht das Verschieben in Y-Richtung. Damit der Werkstückträger auf den Rücklauf befördert werden kann, benötigt es lediglich einen 180°-Rotor, welcher elektronisch angetrieben wird.

Ergebnis

Das neue Transferkonzept hat die bewährten Lösungsansätze von den bekannten Maschinen SHU und S50 zusammengeführt. Auf der einen Seite das solide Antriebssystem mittels eines Riemenantriebes und auf der anderen Seite die Zustellbewegung ausgehend von der Stationsseite.

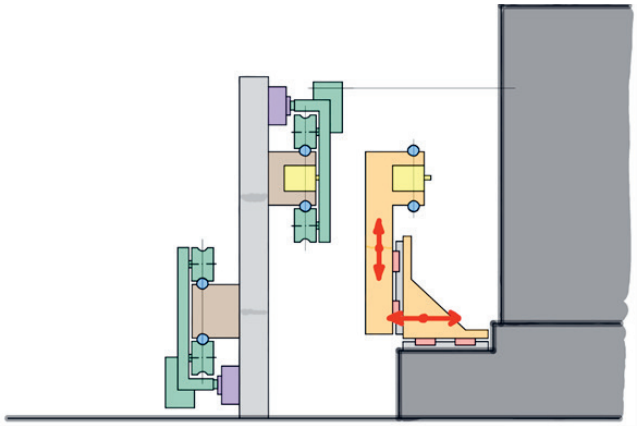


Abb. 2: Lösungskonzept

Mit dem neuen Konzept können die Kosten erheblich gesenkt, die Montage und Wartung vereinfacht und der Verschleiss verbessert werden. Im Laufe der Arbeit wurden weitere Problemstellen wie zum Beispiel die Verschalung oder Modularität der Stationen auf der Maschine erkannt und zusätzliche Konzepte entwickelt, um die Maschine langfristig attraktiv auf dem Markt zu machen.

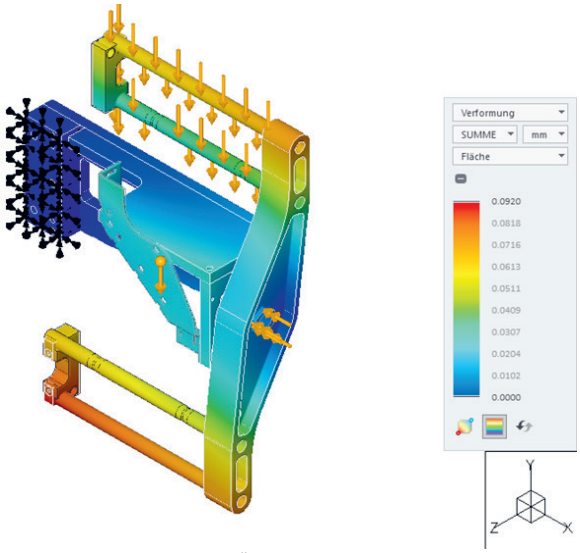


Abb. 3: FEM-Analyse des neuen Übergabesystems

Diplomand	Fuchs Marco
Dozent	Prof. Dr. Fischer Ludger Josef
Projektpartner	Swisspor AG
Experte	Dr. Lieball Kai
Themengebiet	Energien, Fluide und Prozesse

Feuchtigkeitscontroller zur Bestimmung von Kriechdehnung für Dämmmaterial

Ausgangslage

Im Rahmen eines Forschungsprojekts, zusammen mit der Swisspor AG, wird ein System entwickelt, das es erlaubt, grossräumige Saisonale Thermische Energiespeicher (STES) kostengünstig zu bauen. Das gedämmte Abdichtungssystem (GEAS) kann in einen bestehenden Raum eingebaut werden und besteht aus einer wasserdichten Schicht und einer Schicht aus thermischem Dämmmaterial. Die thermische Dämmung aus Polyisocyanuraten (PIR) muss dem hohen Wasserdruck, den Temperaturschwankungen und der Feuchtigkeitslast über lange Zeit standhalten. Um dies nachzuweisen, wird die sogenannte Kriechdehnung mithilfe eines bestehenden Prüfstands bestimmt. Dieser kann bis anhin die Luftfeuchtigkeit nur messen und nicht beeinflussen. Damit der Feuchtigkeitseinfluss auf das Dämmmaterial beurteilt werden kann, wird der Prüfstand um eine Luftfeuchtigkeitskontrolle ergänzt.

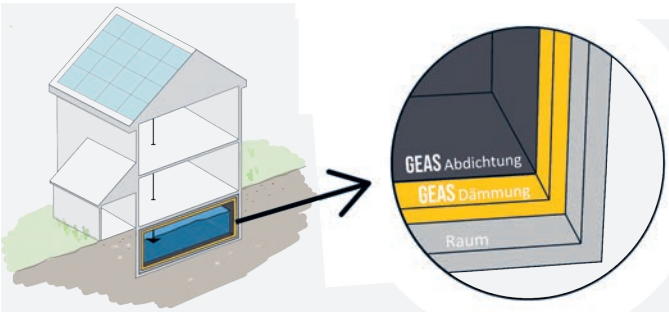


Abb. 1: Infograph des gedämmten Abdichtungssystems (GEAS)

Vorgehen

Zuerst wurde der bestehende Prüfstand und die bereits durchgeführten Versuche analysiert. Anschliessend wurden die Rahmenbedingungen für den Umbau festgelegt. Konkret heisst das, in welchem Bereich die Luftfeuchtigkeit im Prüfkanal stabil gehalten werden soll. Mit diesen Vorgaben und kurzen Experimenten wurden Vorschläge für den Umbau gesammelt. Die Luftbefeuchtung wurde mittels Zuführung von Wasserdampf und die -trocknung mittels einem Bypasskanal, der Trocknungseinsätze mit Molekularsieben aus Zeolith enthält, umgesetzt. Zuletzt wurden mehrere abschliessende Experimente durchgeführt und in Python grafisch ausgewertet.

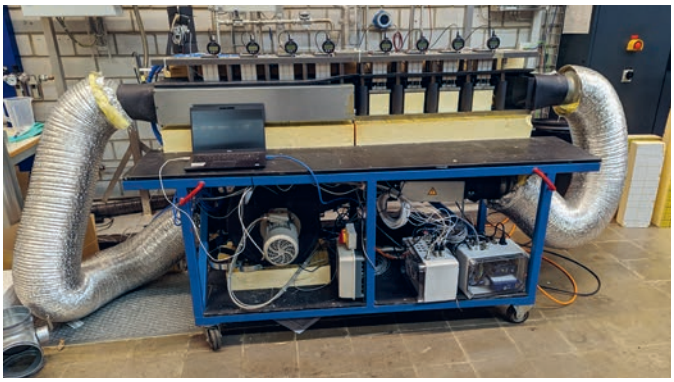


Abb. 2: Prüfstand zur Bestimmung von Kriechdehnung von Dämmmaterial

Ergebnis

Nach dem Umbau kann die Luftfeuchtigkeit auf einem voreingestellten Niveau über lange Zeit konstant gehalten werden. Muss die Luft entfeuchtet werden ist es jedoch erforderlich, die Trocknungseinsätze ca. alle 48 Stunden auszutauschen. Dies kann im laufenden Betrieb ohne Probleme gemacht werden. In der vorhandenen Zeit konnten vier Versuche durchgeführt und ausgewertet werden. Abb. 3 zeigt einen Versuch bei dem die Luftfeuchtigkeit auf 75 % rH erhöht wurde und anschliessend wieder auf das Ausgangsniveau gesenkt wurde. Es ist erkennbar, dass das Dämmmaterial bei erhöhter Feuchte aufquillt und bei der Trocknung wieder kleiner wird.

Die Grundlage für weiter Versuche sowie deren Auswertung wurde mit dieser Arbeit geschaffen.

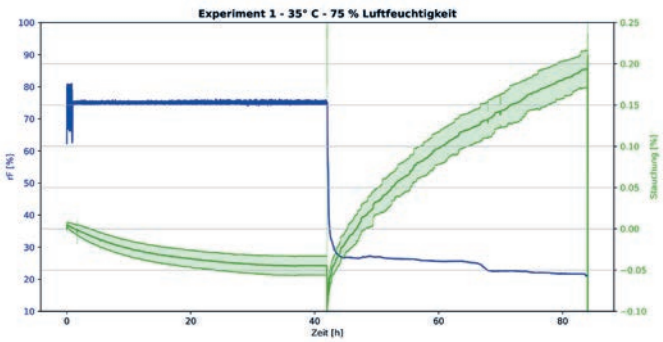


Abb. 3: Ergebnisse des Versuch mit Befeuchtung auf 75 % rF

Diplomand Graven Dominik
Dozent Prof. Dr. Lodewyks Johann
Projektpartner Bucher Hydraulics AG
Experte Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung energieoptimierter hydraulischer Antriebe

Ausgangslage

Die weltweit tätige Firma «Bucher Hydraulics» widmet sich hauptsächlich der Entwicklung und Herstellung erstklassiger Hydrauliksysteme für zahlreiche Anwendungsbereiche. Darunter fällt auch die Entwicklung von energieeffizienten Hydraulikantrieben, die beispielsweise in Baggern zum Einsatz kommen. Aus diesem Grund werden alle Analysen exemplarisch an einem Radbagger des Typs Liebherr LH18 durchgeführt. Um Aussagen zur Qualität ihrer Energieoptimierungskonzepte treffen zu können muss eine Umgebung geschaffen werden, in der Sie diese Konzepte testen können. Die Analyse von Steuerungskonzepten soll daher vorbereitet werden, indem ein statisches Simulationsmodell des Auslegers aufgebaut wird, das dieses reale Verhalten rekonstruieren kann. Dieses Modell dient als Grundlage für die Bewertung und Optimierung verschiedener Steuerungsstrategien, mit dem Ziel, die Energieeffizienz zu verbessern.

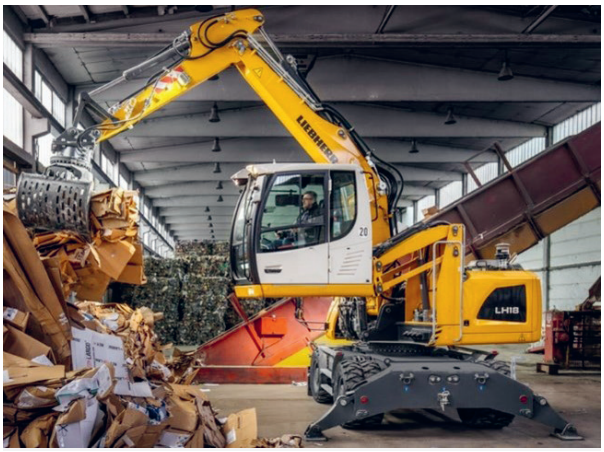


Abb. 1: Untersuchungsobjekt, Radbagger LH18 von Liebherr

Vorgehen

Die Arbeit unterteilt sich in die drei Phasen: Analysieren, Modellieren und Validieren, wobei die Modellierung und Validierung parallel durchgeführt wird. Mit Hilfe von Recherchen und diversen analytischen Berechnungen konnten grundlegende Informationen und Zusammenhänge erarbeitet werden welche wichtig für die Modellierung des Systems in der Simulation sind. Die zentralen Bestandteile der Arbeit lagen in der Erstellung einer statischen Simulation, wie auch das kontinuierliche Validieren der Simulationsergebnisse mit den selbst aufgenommenen Messdaten.

In Abb. 2 ist dargestellt, wie der Ausleger im Simulationsprogramm aussieht.

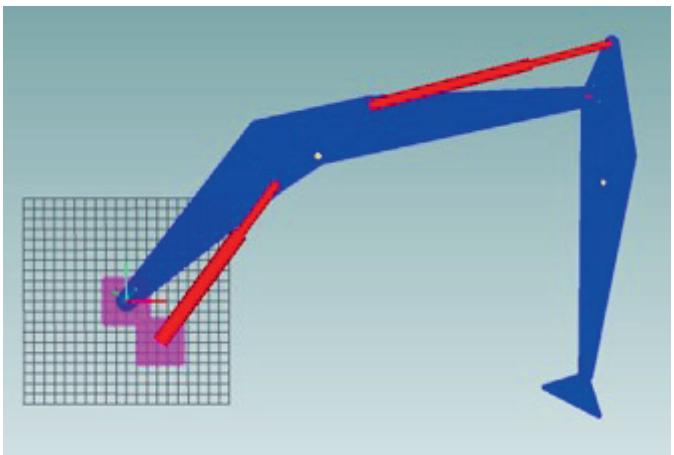


Abb. 2: Simulationsmodell des LH18

Ergebnis

In Abb. 3 ist das Validierungsergebnis des Hubzylinders dargestellt. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen dem Kraftverlauf in der Simulation und dem Kraftverlauf aus den Messdaten. Das gleiche Vorgehen wurde für den Stielzylinder durchgeführt, mit einem ebenso genauen Ergebnis. Das führt dazu, dass die Simulation eine zuverlässige und genaue Darstellung des realen Systems liefert und somit ein wertvolles Werkzeug zur Untersuchung und Bewertung von diversen Konzepten darstellt. Es können somit Steuerungskonzepte wie auch Automatisierungskonzepte getestet werden und eine Aussage über dessen Effizienz gemacht werden.

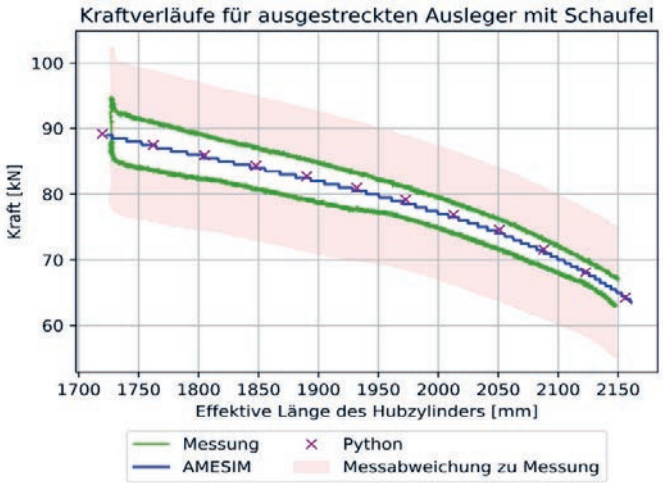


Abb. 3: Ergebnis der Validierung für den Hubzylinder

Diplomand Güntensperger Janosch
Dozent Prof. Dr. Kleingries Mirko
Projektpartner Architekturbüro hhplus AG, Stiftung Einfach Wohnen
Experte Dipl. Ing. FH Gasser Lukas
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

Sorptionswärmespeicher, Systemauslegung und Dimensionierung für einen Gebäudekomplex

Ausgangslage

Der Sorptionswärmespeicher ermöglicht eine kompakte und über die Speicherdauer verlustfreie Speicherung. Er soll deshalb als saisonaler Speicher eingesetzt werden, der im Sommer mit überschüssiger Solarenergie geladen wird und im Winter Wärme aus einer Niedertemperatur-Wärmequelle abgibt. Die Technologie funktioniert als chemisch angetriebene Wärmepumpe auf Basis der Chemikalie Natriumhydroxid.

Die HSLU betreibt Forschung in diesem Gebiet und besitzt eine funktionstüchtige Laboranlage. Deshalb wird die Anwendung des Sorptionswärmespeichers an drei Mehrfamilienhäusern untersucht, welche Platz für ca. 80 Personen bieten. Dabei ist das Ziel der Arbeit, ein Berechnungstool zu entwickeln, welches für die Systemauslegung verwendet werden kann.

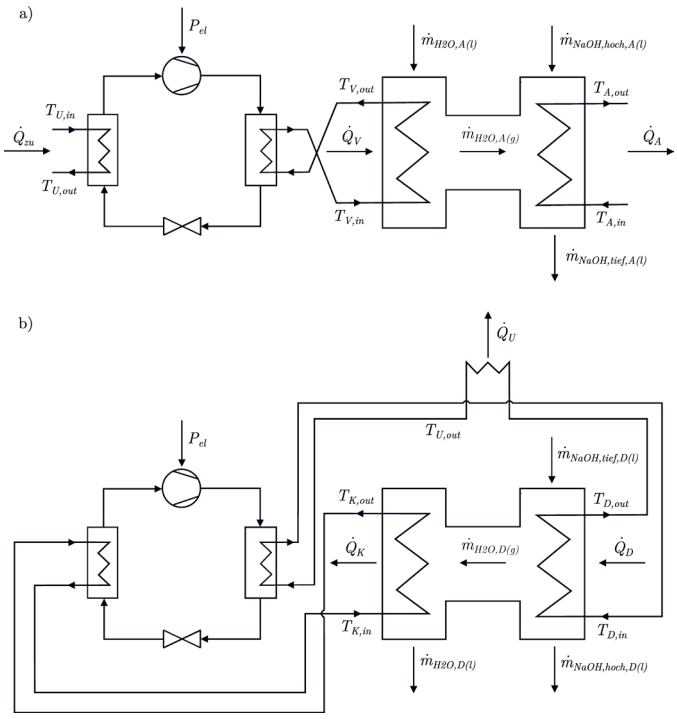


Abb. 1: Schema des Sorptionswärmespeichers vom Heizprozess (a) und vom Ladeprozess (b)

Vorgehen

Zu Beginn der Arbeit werden die Grundlagen des Sorptionswärmespeicher erarbeitet und alle nötigen Messdaten und Gebäudeparameter zusammengestellt. Zudem wird das Verhalten der Gebäude bezüglich thermischer Lasten und solarer Erträge simuliert.

Anschliessend wird das Berechnungstool in Python programmiert. Dazu wird in einem ersten Schritt die Charakteristik des Sorptionswärmespeichers mit Hilfe von Funktionen beschrieben. Anhand dieser kann in einem zweiten Schritt das Berechnungstool programmiert werden. Zum Schluss wird für die drei Gebäude eine Auslegung erstellt und die Resultate werden bewertet.

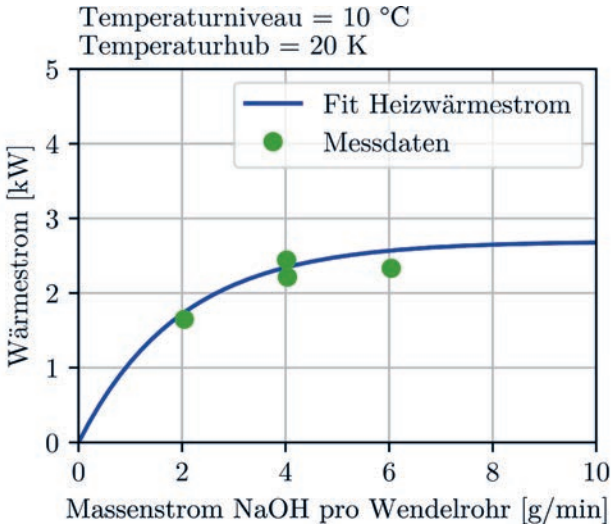


Abb. 2: Annäherung des Heizwärmestroms mit den zugehörigen Messpunkten aus den Laborversuchen

Ergebnis

Die Resultate aus den Berechnungen ergeben, dass durch den Sorptionswärmespeicher im Winter pro Gebäude bis zu 13'000 kWh an elektrischer Energie gespart werden können. Dabei kann von einem virtuellen Batterieeffekt gesprochen werden, bei dem ein Speicherwirkungsgrad von 46 - 48 % erreicht wird. Jedoch werden Speichervolumen im Bereich von 250 - 350 m^3 benötigt und es entstehen Anschaffungskosten im Bereich von 300'000 CHF. Diese Resultate zeigen, dass der Sorptionswärmespeicher einen relevanten Beitrag zur Entlastung des Stromnetzes im Winter leisten kann, jedoch mit den heutigen Strompreisen nicht rentabel ist.

Diplomand Huber Lukas
Dozent Dipl. Ing. FH Kirchhofer Pierre
Projektpartner Institut IME, CC Thermische Energiespeicher
Expertin B. Sc. ME Janssen Stephanie
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Testen und weiterentwickeln einer Druckkammer für Computertomographie

Ausgangslage

Das CC Thermische Energiespeicher (CCTES) der Hochschule Luzern ist der Industriepartner dieser Thesis. Sie betreiben Materialforschung mittels Computertomographie (CT). Für die Untersuchung von Proben mittels CT unter Einfluss von Druck, Unterdruck und verschiedenen Temperaturen fehlt eine geeignete Druckkammer. Es wurde bereits eine Bachelor-Thesis (BAT) im Frühlingssemester 2022 mit dem Arbeitstitel «Entwicklung CT Druckkammer» erarbeitet. Diese Arbeit dient als Grundlage der vorliegenden Arbeit. Das Ziel der vorhergehenden BAT war es, eine Druckkammer zu entwickeln und zu bauen, für den Einsatz in einem Computertomographen mit Röntgenstrahlung (Abb. 1). Dabei musste darauf geachtet werden, dass im durchstrahlten Bereich der Druckkammer kein Metall verbaut wird und gleichzeitig eine grosse Öffnung für Proben, welche es zu platzieren gibt, vorhanden ist. Im Rahmen dieser Arbeit soll die Druckkammer getestet und weiterentwickelt werden.

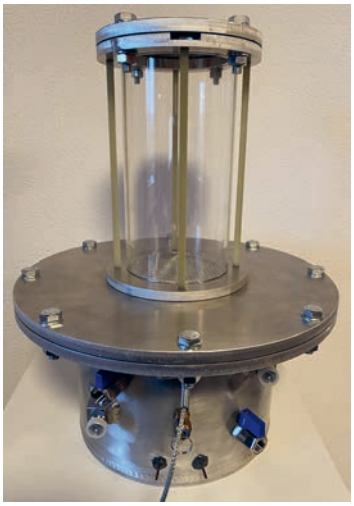


Abb. 1: Druckkammer aus Bachelor-Thesis vom Frühlingssemester 2022

Vorgehen

Zu Beginn der Arbeit wurde die Ausgangslage analysiert, um mit der Thematik vertraut zu werden. Danach wurden die Berechnungen der vorhergehenden BAT FS22 nachgerechnet und verifiziert. Dabei wurde festgestellt, dass das Probenkammerkonzept nicht der erforderlichen Festigkeit entspricht. Aus diesem Grund wurde eine Neuauslegung der Druckkammer erarbeitet. Mit den erhaltenen Wandstärken und der gedachten Geometrie wurden Machbarkeitsanfragen gemacht, für eine Druckkammer aus kohlenstoffverstärktem Kunststoff (CFK). Durch die Zusammenarbeit mit Aerolite AG in Horw konnte die CFK-Druckkammer umgesetzt werden.

Im Laufe der Arbeit wurden einige Test durchgeführt. Zuerst wurde mit dem bestehenden Prototyp und einigen 3D-Druckteilen die Luftzirkulation (Abb. 2) mit Hilfe von Trockeneis getestet. Anschliessend wurden Dichtheitsprüfungen am Temperierboden aus Aluminium durchgeführt. Weiterführend an die Dichtheitstests wurden konstruktive Massnahmen ergriffen und umgesetzt, bis die Dichtheit gewährleistet werden konnte.

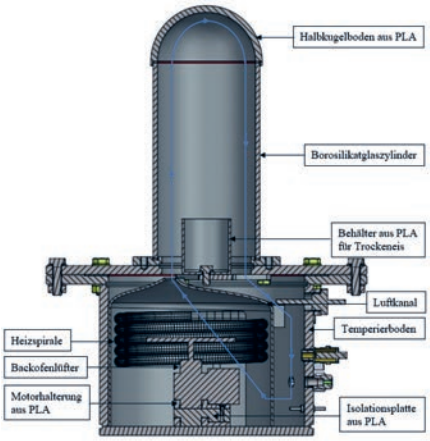


Abb. 2: Luftzirkulationsschema der Druckkammer durch Backofenlüfter

Ergebnis

Die Druckkammer (Abb. 3) bestand erfolgreich einen Dauertest über 72 Stunden mit einem minimalen Volumenverlust von 2 Zentiliter. Der DBV-Druck konnte mit 11.4 bar gemessen werden und somit wird die Sicherheit des Systems garantiert. Mit einem Maximaldruck von 12.19 bar wurde die gesamte Druckkammer abgedrückt, um die Festigkeit zu gewährleisten. Die Luftzirkulation funktioniert wie angedacht. Damit die Druckkammer im CT eingesetzt werden kann, müssen noch einige Aufgaben abgearbeitet werden. Durch die vielen Dichtheitsprüfungen und Optimierungen blieb zu wenig Zeit, um weitere Funktionsprüfungen, Tests und Optimierungen innerhalb dieser BAT durchzuführen.

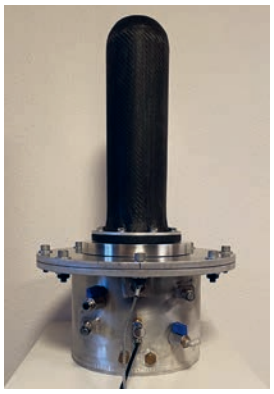


Abb. 3: CFK-Druckkammer mit Temperierboden aus Aluminium

Diplomand Imfeld Basil
Dozent Dr. Deniz Sabri
Projektpartner Institut IME, CC Fluidmechanik und numerische Methoden
Experte Dr. Schlienger Joel
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

Kavitationsmessungen an einem NACA-Profil mit verschiedenen Spaltöffnungen

Ausgangslage

Kavitation beschreibt das räumlich begrenzte Verdampfen einer Flüssigkeit mit anschliessender Rückkondensation. Kavitationsbehaftete Strömungen können schwerwiegende Folgen auf Pumpen und Hydroturbinen haben. Die Anwendung von computergestützten Simulationen bietet Möglichkeiten zur Optimierung und Auslegung von technischen Strömungen. Da Kavitation ein höchst instationärer Vorgang ist, werden auch heute noch Messdaten zur Verifizierung dieser Simulationen benötigt. Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis sollen Kavitationsmessungen und Hochgeschwindigkeitsaufnahmen an einem NACA0012-Hydrofoil durchgeführt und analysiert werden. Das Strömungsregime rund um das Hydrofoil soll mit Variieren der folgenden Parameter analysiert werden: Anstellwinkel des Hydrofoils in der Strömung, Druckniveau der Strömung, Spalt zwischen Stirnseite des Hydrofoils und dem Strömungskanal und Fliessgeschwindigkeit der ungestörten Strömung.

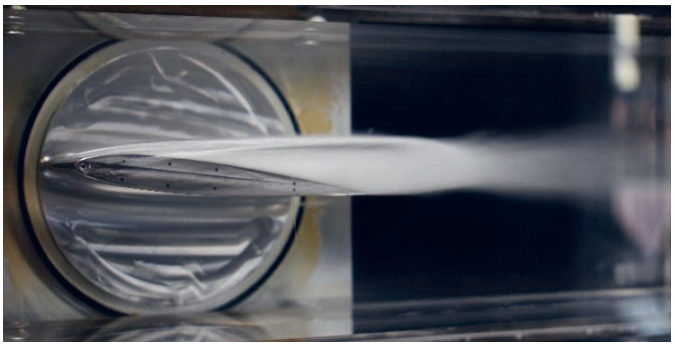


Abb. 1: Spalt- und Superkavitation am NACA0012-Hydrofoil, Strömungsrichtung von links nach rechts, σ = 0.53, α = 8°, s = 3mm

Vorgehen

Die Untersuchungen werden am Pumpenprüfstand des CC FNUM der HSLU T&A durchgeführt. Das Hydrofoil befindet sich in einem Plexiglaskanal und verfügt über 19 Messbohrungen. Mittels dieser Messbohrungen können die wirkenden Drücke gemessen und damit das vorherrschende Strömungsregime untersucht werden. Dafür werden die aufgenommenen Messwerte in dimensionslosen Kennzahlen wie der Kavitationszahl σ und dem Druckbeiwert Cp ausgedrückt und untereinander verglichen. Mit dem Variieren der unterschiedlichen Parameter ergeben sich insgesamt mehr als 50 zu untersuchende Konfigurationen. Zusätzlich zu den Messungen werden Hochgeschwindigkeitsaufnahmen bei allen kavitierenden Konfigurationen erstellt.

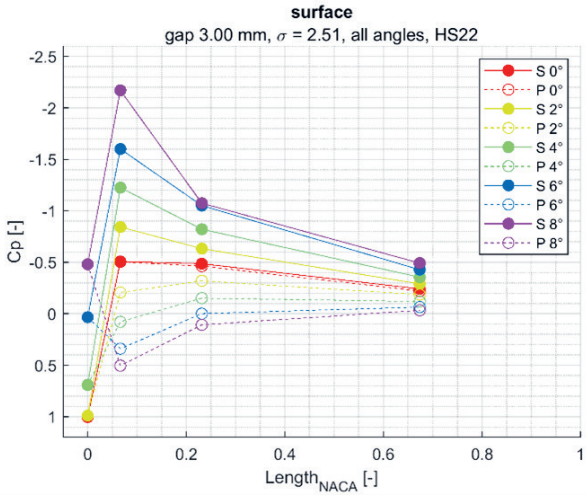


Abb. 2: Druckbeiwerte bei allen untersuchten Winkeln, σ = 2.51, Spaltgrösse = 3mm mit S - Saugseite und P - Druckseite

Ergebnis

Mit Hilfe der erhaltenen Messdaten und Aufnahmen konnten neue Erkenntnisse gewonnen werden. Das Vergrössern des Spaltes zwischen der Stirnseite des Hydrofoils und dem Strömungskanal hat einen unterschiedlich grossen Einfluss auf das Kavitationsbild. Das Kavitationsgebiet auf der Oberfläche wird besonders in Spaltnähe von dessen Grösse beeinflusst. Im Spalt zeigt sich der Einfluss deutlicher. Bei einer Spaltgrösse von 0.25mm kann keine Kavitation im oder ausgehend vom Spalt beobachtet werden. Bei 3mm herrschen Spalt- und Spitzenwirbelkavitation.

Abb. 3: Verschiedene Arten der Kavitation rund um das NACA0012-Hydrofoil, Schicht- und Wolkenkavitation auf der Druckseite, Spalt- und Spitzenwirbelkavitation im und ausgehend vom Spalt, σ= 1.52, α = 6°, s = 3mm

Diplomand Krauer Roger
Dozent Prof. Dr. Eck Christoph
Projektpartner Schneeberger AG Lineartechnik
Experte Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Gekoppelte Simulation eines Wafer-Inspektionssystems

Ausgangslage

Die Firma Schneeberger AG Lineartechnik entwickelt neben Linearführungen auch kundenspezifische Positioniersysteme, welche in anspruchsvollen Industriezweigen wie der Halbleiterindustrie, Medizin- und Solartechnik zum Einsatz kommen. Um bereits in der Entwicklungsphase Aussagen über dynamische Systemspezifikationen zu machen und das System betreffend seiner Regelbarkeit zu optimieren, soll in Zukunft eine mechanisch/mechatronisch gekoppelte Simulation durchgeführt werden. In dieser Arbeit wird mit den Softwarelösungen ANSYS und MORe ein digitaler Zwilling eines bereits bestehenden XYT-Positioniersystems erstellt und die Simulationsergebnisse werden mit Messungen am realen System verglichen. Dabei soll aufgezeigt werden, wie kohärent die Simulation mit der Realität ist und welche Daten noch erfasst werden müssen, um eine aussagekräftige Simulation für die Entwicklung neuer Produkte erstellen zu können.

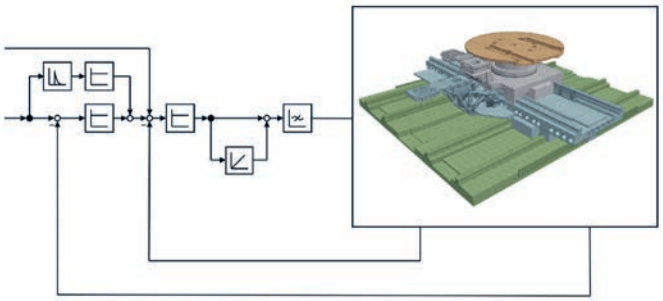


Abb. 1: Regelkreis des Simulationsmodelles mit 3-D Darstellung des XYT-Positioniersystems in der Software MORe

Vorgehen

Für die Modellerstellung in ANSYS wird das bestehende XYT-System im CAD für das FEM vereinfacht und daraus ein Simulationsmodell aufgebaut. Zur Überprüfung des Modelles wird eine FEM-Modalanalyse durchgeführt und diese mittels Messung am realen System validiert. Die Komponenten des Modells werden in die Software MORe übertragen und die notwendigen Interfaces und Verbindungen definiert. Mittels Modellordnungsreduktion, welche die Software MORe auszeichnet, kann die Rechenzeit massive reduziert werden. Nach einer Modalanalyse zur Validierung wird der Geschwindigkeits- und Positionsregelkreis implementiert (Abb. 1). Weiter lässt sich der am realen System gemessene Frequenzgang (Abb. 2) mit der Simulation vergleichen. Die transienten Simulationen für Bewegungen von Punkt zu Punkt mittels ruckbegrenzter Trajektorie, welche mit realen Messdaten abgeglichen werden, bilden den Abschluss der Arbeit.

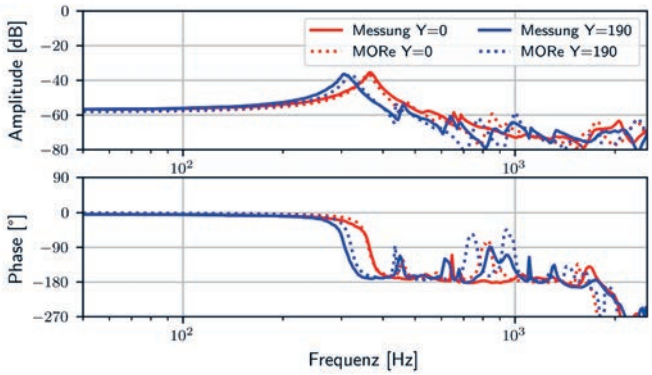


Abb. 2: Vergleich des gemessenen und simulierten Frequenzgang des Yaw-Modes der X-Achse bei unterschiedlichen Positionen des Y-Schlittens

Ergebnis

Aus dieser Arbeit geht hervor, dass mit MORe und der integrierten Modellordnungsreduktion ohne lange Rechenzeiten Frequenzganganalysen und transiente mechanisch/mechatronische Simulationen möglich sind und bei der Entwicklung von Projekten eingesetzt werden können. Der Vergleich der FRF-Analysen zeigt, dass trotz Modellordnungsreduktion erstaunlich genaue Simulationsergebnisse erreicht werden können (Abb. 2). Trotzdem hat das System seine Grenzen. Beispielsweise ist es nicht möglich, ein fixfertiges Tuning bereits zu erstellen und dieses danach direkt auf eine Maschine zu laden. Weiter haben die Reglerarchitektur, die Reibung und weitere Störgrössen bei den transienten Analysen einen zu grossen Einfluss, um verlässliche Aussagen zu treffen (Abb. 3).

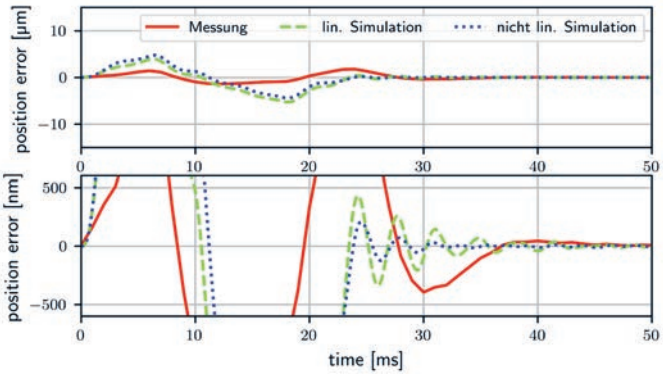


Abb. 3: Vergleich der simulierten und gemessenen Positionsabweichung während einer Bewegung von 1 mm am Encoder der X-Achse

Diplomand Leuthard Joshua
Dozentin M. Sc. Herzog Priska
Projektpartner Stöckli Swiss Sports AG
Experte Dr. Lieball Kai
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Materialanalyse Belag Stöckli-Ski

Ausgangslage

Die Firma Stöckli Swiss Sports Ski AG produziert Skier von hoher Qualität mithilfe der sogenannten Sandwichbauweise. Dieser Prozess wird grösstenteils manuell durchgeführt. Zunächst wird die Montageform, auch als Kassette bezeichnet, in Position 1 vorbereitet (Abb. 1). Anschliessend wird der Belag (Position 2, Abb. 1) in die Kassette eingelegt. Die Abmessungen der Kassette und des Belags sind so gewählt, dass der Belag etwas kleiner skaliert ist, um Platz für den entstehenden Luftspalt zu schaffen, in den die Kante eingefügt werden kann (Position 3, Abb. 1). Durch diese präzise Dimensionierung werden die genannten drei Bauteile ineinander geklemmt, sodass sie sich an der richtigen Stelle befinden und nicht verrutschen. Der verwendete Belag besteht aus Polyethylen in einer Ultrahochmolekularen Ausführung. Dieser reagiert empfindlich auf Veränderungen der Umgebungsbedingungen und kann sich geometrisch dehnen oder zusammenziehen. Aufgrund der Anforderungen an präzise Masse des Belags führt eine geometrische Dehnung zwangsläufig zu einer Beeinträchtigung der Passgenauigkeit, wodurch die Kante nicht mehr eingefügt werden kann.

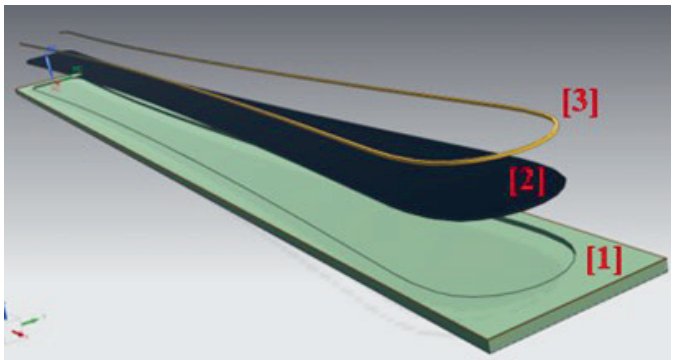


Abb. 1: Sandwichaufbau Ski mit relevanten Bauteilen wie Kassette (1), Belag (2) und Kante (3)

Vorgehen

Bei Stöckli wurden Untersuchungen mit dem verwendeten Belag durchgeführt, um sein Verhalten unter verschiedenen Umgebungsbedingungen, wie Veränderungen der Luftfeuchtigkeit und Temperatur, zu analysieren. In einem weiteren Schritt wurde der Herstellungsprozess bei Stöckli anhand der Erkenntnisse aus den Messungen untersucht, um die Ursachen für auftretende Fehlbeläge zu identifizieren. Schliesslich wurden Massnahmen zur Lösung dieses Problems entwickelt, um es effektiv zu bewältigen.

Ergebnis

Durch die Durchführung von Messungen konnte der Ausdehnungskoeffizient des Belags ermittelt werden. Es wurde festgestellt, dass der Ausdehnungskoeffizient bei Änderungen der Luftfeuchtigkeit bei null liegt. Allerdings reagiert der Belag empfindlich auf Temperaturschwankungen, wobei der Ausdehnungskoeffizient bei $200*10^{-6}$/K liegt (Abb. 2). Basierend auf

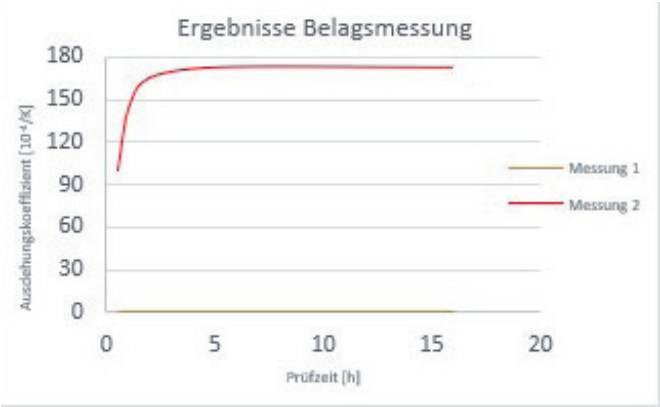


Abb. 2: Ergebnisse Ausdehnung Belag unter Feuchtigkeitsänderung (Messung 1) und Temperaturänderung (Messung 2)

diesen Erkenntnissen und der Erfassung der Standzeiten des Belags während des Herstellungsprozesses (Abb. 3) wurde die Ursache des Problems identifiziert. Durch einen Lösungsvorschlag, der darauf abzielt, Temperaturunterschiede zwischen dem Fräsen des Belags und der anschliessenden Montage zu eliminieren, kann das Auftreten des Problems behoben werden.

Abb. 3: Rückverfolgung Problementstehung eines unpassenden Belags

Diplomand Marro Matthias
Dozent Dipl. Ing. ETH De Angelis Marco
Projektpartner NyDee GmbH
Experte Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Autarker Verkaufsautomat

Ausgangslage

Der autarke Verkaufsautomat (Abb. 1) ist für den Vertrieb von günstigen Verbrauchsprodukten zuständig und kann im öffentlichen Raum aufgestellt werden. Die Produkte sind in Kunststoffkugeln verpackt, welche zum Recyceln wieder zurück in den Automaten geführt werden. Der Kunde kann bei einer Transaktion bis zu fünf Produkten kaufen. Alle Kugeln beinhalten dasselbe Produkt. Der Automat ist für gesamthaft 600 Kugeln ausgelegt. Dabei ist die Ebene, welche die vollen Kugeln von den leeren Kugeln trennt, in der Höhe verstellbar. Der autarke Verkaufsautomat wurde in Zusammenarbeit mit einem Student der Elektrotechnik entwickelt.

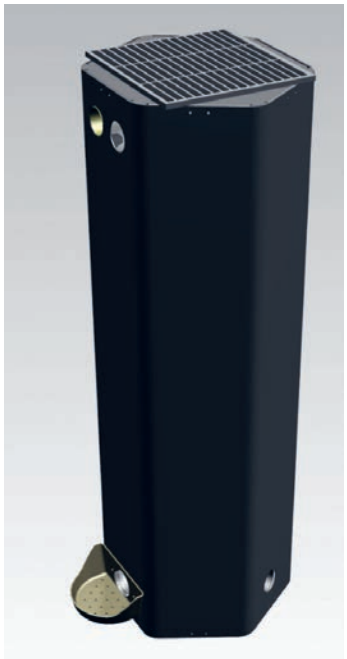


Abb. 1: Autarker Verkaufsautomat

Vorgehen

Nach einer Analyse der vorgegebenen Kriterien wurden verschiedene Modelle des Verkaufsautomaten entwickelt. Durch das methodische Vorgehen konnte bereits früh das Grobkonzept festgelegt werden. Danach wurden die einzelnen Bauteile konstruiert, welche teilweise mit dem 3D-Drucker hergestellt wurden. Dadurch war eine Prüfung der einzelnen Teilfunktionen früh möglich (Abb. 2). Die einzelnen Bauteile wurden modifiziert, so dass sich eine stetige Verbesserung des Produktes ergab. Um die Verkaufsprodukte vor der Wärme im Sommer und der Kälte im Winter zu schützen, wird eine Isolation verwendet.

Abb. 2: 3D gedruckter Kugelspeicher für die Tests

Ergebnis

Aus den einzelnen Bauteilen resultiert ein Funktionsmuster in Originalgrösse. Mit Hilfe von Sensoren und Lichtschranken können die Motoren automatisiert angesteuert werden. Dank einer Plexiglas-Scheibe kann das Innere des Funktionsmusters begutachtet werden (Abb. 3). Durch zwei bestehende Türen können auch im Nachhinein Veränderungen vorgenommen werden. Alle geforderten Aufgaben werden erfolgreich demonstriert und entspricht somit den Erwartungen des Auftraggebers.

Abb. 3: Fertiges Funktionsmuster

Diplomand Meier Nico
Dozent Prof. Dr. Müller Ulf Christian
Projektpartner Swissloop
Experte Dr. Schlienger Joel
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

Aerodynamische Optimierung der Aussenhülle eines Hyperloop-Pods

Ausgangslage

Der Verein Swissloop, welcher aus einer studentischen Initiative der ETH-Zürich entsprang, konstruiert und baut jedes Jahr einen Hyperloop-Pod. In Zusammenarbeit mit dem Team ging es einerseits um die Erfassung und Analyse von strömungsmechanischen Grössen, welche die Widerstandscharakteristik eines Hyperloop-Pod in Abhängigkeit der Einsatz- und Betriebsparameter aus aerodynamischer Sicht beeinflussen. Andererseits sollen die gewonnenen Erkenntnisse bei der Gestaltung einer Aussenhülle für den aktuellen Pod einfliessen.

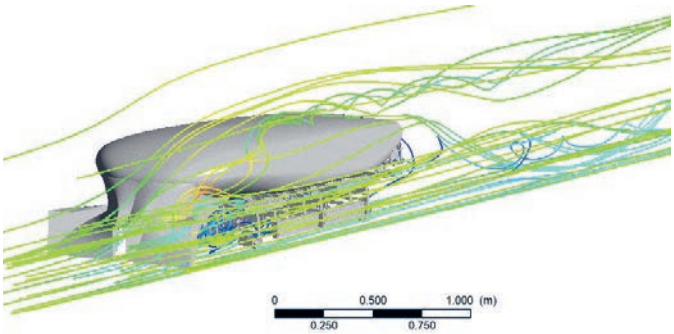


Abb. 1: Auswertung von Stromlinien um eine Zwischenversion des neuen Swissloop-Pod mit Airshield

Vorgehen

Basierend auf einer bestehenden Pod-Geometrie wurden die Zusammenhänge zwischen der Hüllengeometrie, dem Umgebungsdruck, der Fahrgeschwindigkeit und den Dimensionen der Transportröhre mittels CFD-Simulationen ermittelt.

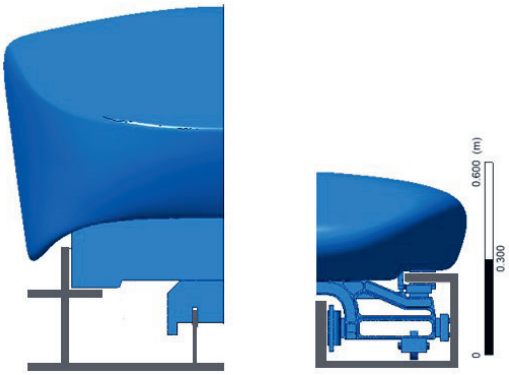


Abb. 2: Vergleich der Swissloop-Pod-Geometrien und Fahrbahn aus der Frontansicht; Pod 2022 (l) und Pod 2023, V3 (r)

Unter der Berücksichtigung des Pflichtenheftes aus dem Swissloop-Projekt, wurde im Anschluss an die Datenanalyse eine neue Hülle konstruiert.

Über mehrere Iterationen hinweg sind die Erkenntnisse aus den 3-D CFD Simulationen in das Projekt zurückgeflossen.

Ergebnis

Die Untersuchungen zeigt eine starke Abhängigkeit des Luftwiderstands eines Pod vom Verhältnis der Querschnittsflächen von Pod und Transportröhre. Für grosse Fahrtgeschwindigkeiten ergeben sich zudem Herausforderungen aufgrund von Überschallströmungen. Die gewonnenen Erkenntnisse stellen eine ökonomische Inwertsetzung eines Hyperloop-Systems für den Personentransport in Frage.

Der Widerstandsbeiwert des neuen Swissloop-Pod bleibt trotz deutlich kleinerer Querschnittsfläche in Fahrtrichtung gross. Dennoch kann das Projektteam mit der Senkung der Antriebsleistung um 40 Prozent einen Teilerfolg verbuchen. Die Untersuchungen zeigen ein grosses aerodynamisches Verbesserungspotential im Bereich des Chassis, zum Beispiel durch einen Airshield wie er in Abb. 1 gezeigt ist.

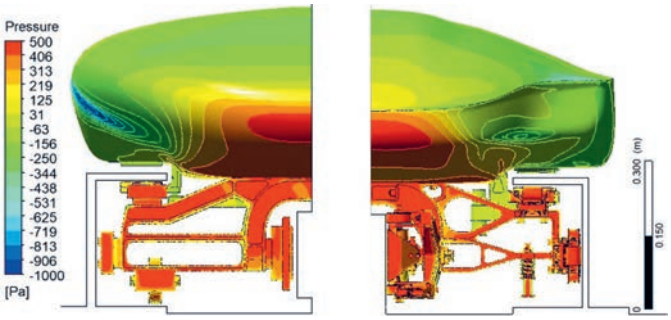


Abb. 3: Druckverteilung an den Aussenflächen der Swissloop-Pod-Geometrien aus der Frontansicht; Pod 2023, V3 (l) und die finale Version des Pod 2023 (r)

Diplomand Muff Armando
Dozent Prof. Dr. Lodewyks Johann
Projektpartner Mammut Sports Group AG
Experte Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Neukonzeptionierung Auslösegriff Lawinenrucksack

Ausgangslage

Die Mammut Sports Group AG ist ein weltweit führender Hersteller von Lawinensicherheitsprodukten. Die Produktpalette umfasst unter anderem Lawinenrucksäcke, welche durch das Prinzip der inversen Segregation den Träger vor einer Verschüttung bewahren können. Die Mortalitätsrate in Lawinen von Personen mit aufgeblasenem Lawinenrucksack liegt bei 11.1 Prozent, bei Personen ohne Lawinenrucksack sind es 22.2 Prozent. Eine Problematik aller Lawinenrucksäcke ist, dass 11 Prozent der Benutzer nicht fähig sind, die Auslösung des Lawinenrucksackes im Ernstfall zu tätigen. Für eine neue, kommende Produktgeneration dieser Lawinenrucksäcke soll untersucht werden, durch welche konstruktiven Anpassungen am Auslösegriff der Tragekomfort, die Zuverlässigkeit bei der Auslösung sowie die Gesamtfestigkeit der Auslöseeinheit erhöht werden können.

Abb. 1: Mammut Lawinenrucksack

Vorgehen

Die Arbeit ist durch MockUps, Versuche und Iterationen definiert und folgte nicht einer linearen Produktentwicklung. Da der Mensch direkt mit dem Auslösegriff in Kontakt kommt, wurden von Beginn weg MockUps erstellt, um zu ermitteln, welche Formen ergonomisch gut funktionieren und welche weniger. Diese Herangehensweise resultierte in vielen Iterationen, zudem konnten vielversprechende Ansätze schnell erkannt und weniger aussichtsreiche schnell verworfen werden.

Zur Validierung einer Alternative zur Kraftführung wurden verschiedene Versuche durchgeführt. Die Bandbreite dieser Versuche reichte von der Ermittlung von Reibungskoeffizienten und Biegesteifigkeiten bis hin zu Vereisungstests nach Norm.

Das Kernstück der Arbeit bilden zwei Testreihen, bei welchen mit Probanden unterschiedlicher Fähigkeitsstufen und verschiedenen Auslösegriffen rund 100 Auslösungen durchgeführt, dokumentiert und ausgewertet wurden.

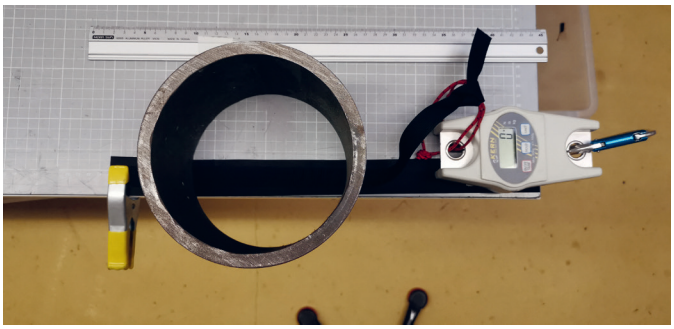


Abb. 2: Testaufbau zur Ermittlung des Reibungskoeffizienten zwischen zwei textilen Reibpartnern

Ergebnis

Durch die eingehende Untersuchung der Bewegung bei der Auslösung konnte ein guter Überblick über verschiedene Bewegungsabläufe und deren Häufigkeit gegeben werden. Daraus konnten konstruktive Anpassungsvorschläge abgeleitet werden, mit welchen die Zuverlässigkeit bei der Auslösung erhöht werden kann.

Aus Gründen der Vertraulichkeit kann an dieser Stelle nicht auf die Ergebnisse eingegangen werden.

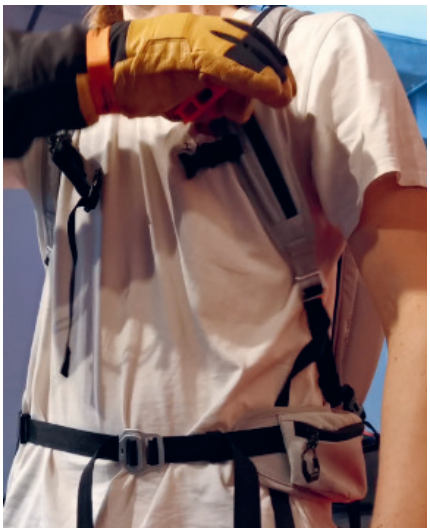


Abb. 3: Proband Nr. 6 bei der stehenden Auslösung der Griffeinheit am aktuellen System Mammut «R.A.S. 3.0»

Diplomandin Müller Sabrina
Dozent Prof. Dr. Wellig Beat
Projektpartner Kegel Klimasysteme
Expertin Dr. Grüniger Andrea
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

Netto-Null Gebäude mit Klimakonvektoren

Ausgangslage

Zur Erreichung des Nettonull-Ziels im Gebäudesektor ist es entscheidend, effiziente Gebäude zu realisieren, die ohne fossile Brennstoffe auskommen. Um eine sehr hohe Effizienz zu erreichen, können sowohl Neubauten als auch sanierte Gebäude mit Klimakonvektoren beheizt und gekühlt werden. Klimakonvektoren heizen und kühlen Räume über die Luft und ermöglichen die wirksame Nutzung der Gebäudemasse als Kurzzeitspeicher. Solche Geräte kommen mit raumnahen Vorlauftemperaturen und kleinen Temperaturspreizungen aus und bilden zusammen mit einer Niederhub-Wärmepumpe ein hocheffizientes System («Kegel Klimasystem»).

Abb. 1: Klimakonvektor im Labor der HSLU

Vorgehen

Der erste Teil der Arbeit umfasst die Weiterentwicklung eines Klimakonvektors. Dazu wurden im Labor umfangreiche Messreihen an einem Prototypen (Abb. 1) durchgeführt, bei welchen die Anzahl Ventilatoren, der Wassermassenstrom sowie die Ventilatordrehzahl variiert wurden. Das Ziel ist, Erkenntnisse über Optimierungspotenziale zu gewinnen.

Abb. 2: Bürogebäude mit Klimakonvektoren in St. Gallen

Im zweiten Teil wird ein saniertes Bürogebäude in St. Gallen (Abb. 2), welches mit dem «Kegel Klimasystem» gekühlt und geheizt wird, anhand von Monitoring-Daten analysiert und bewertet.

Ergebnis

Die Betriebscharakteristik des Klimakonvektors in Abhängigkeit der einzelnen Parameter wurde analysiert und visualisiert. Die Laborversuche zeigen u.a. auf, welche Konstellationen von Anzahl Ventilatoren, Wassermassenstrom und Ventilatordrehzahl für den Betrieb besonders geeignet sind.

Die Auswertung der Daten des Bürogebäudes zeigt, dass der Heizenergiebedarf von ursprünglich 90-120 kWh pro m² und Jahr nach der Sanierung auf 6.4 kWh pro m² und Jahr gesenkt werden konnte. Die Abb. 3 und 4 zeigen beispielhafte Ergebnisse der Auswertung.

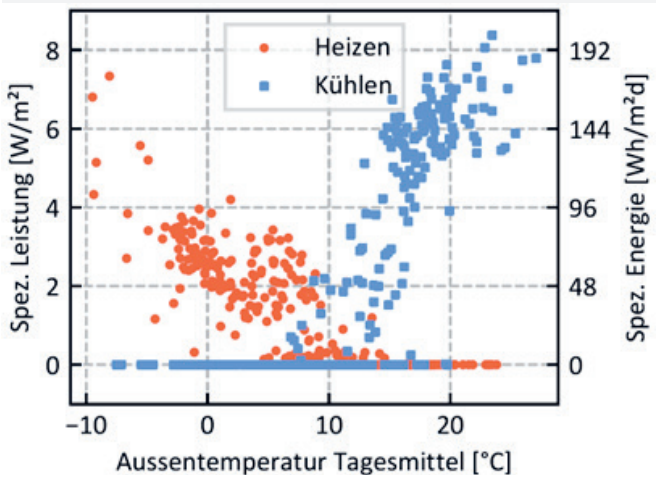


Abb. 3: Spezifische Leistung und Energie für das Heizen und Kühlen in Funktion der Aussentemperatur (2022)

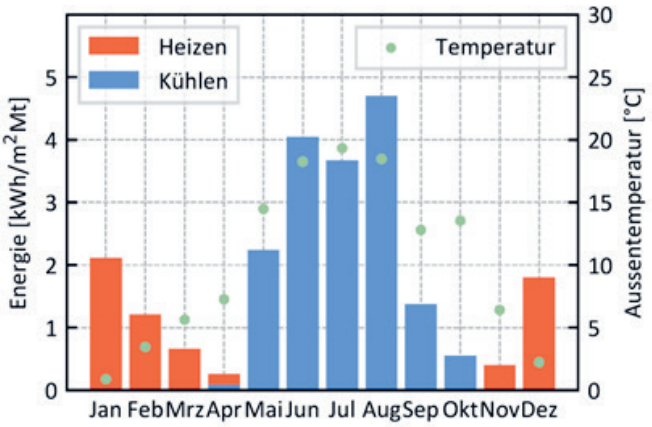


Abb. 3: Monatliche Heiz- und Kühlenergie (2022)

Das Gebäude benötigt nur einen Bruchteil der Heizenergie von neu erstellten Gebäuden nach heute geltenden Grenzwerten. Dies zeigt die Wichtigkeit von energetischen Gebäudesanierungen und das grosse Potenzial von Klimakonvektoren.

Diplomand Müller Nicolas
Dozent Prof. Dr. Müller Ulf Christian
Projektpartner Smart conversion GmbH
Experte Dr. Schlienger Joel
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

Analyse von Wärmeübertragern für Kühlprozesse mit einem Stirlingmotor

Ausgangslage

Tiefkühlprozesse sind allgegenwärtig. Trotz ihrer zentralen Rolle in unserer Industrie werden viele Tiefkühlprozesse nach wie vor mit Kältekompressoren durchgeführt. Aufgrund von strengeren Umweltschutzverordnungen in den letzten Jahren werden viele Kältemittel in den nächsten Jahren verboten. Dies in Kombination mit immer höheren Energiepreisen führt zu einem Interesse an einer Alternative zum Kältekompressor für Tiefkühlanwendungen. Aus diesem Grund hat die Firma smart conversion GmbH mit der Entwicklung der DeltaTube begonnen, diese ist schematisch in Abb. 1 dargestellt. Die DeltaTube soll mithilfe des Stirling Prozesses Kälte für Tiefkühlanwendungen bereitstellen und das ohne Kältemittel. Aufgrund des geringen Platzbedarfs sollen die Lamellenwärmetauscher, Abb. 2, untersucht werden und ein Designvorschlag erarbeitet werden.

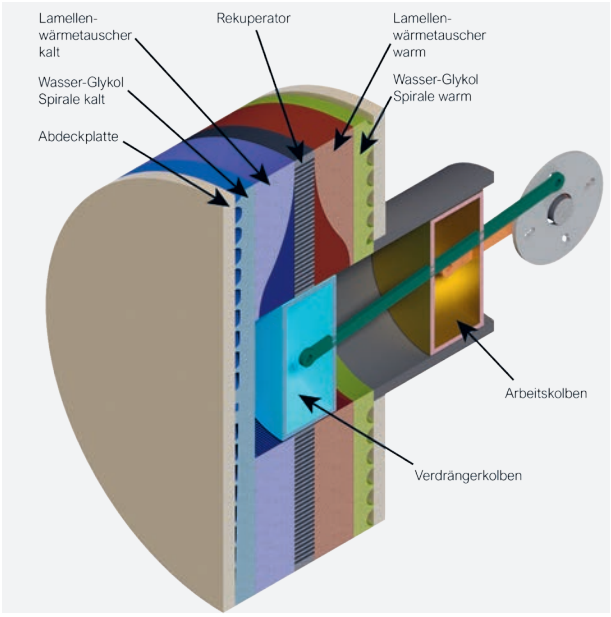


Abb. 1: Schematischer Aufbau DeltaTube

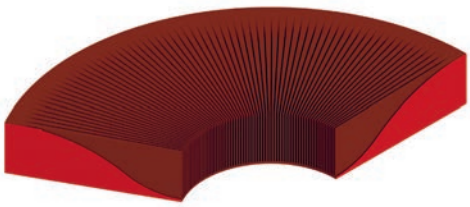


Abb. 2: Lamellenwärmetaucher Detailansicht

Vorgehen

Ausgehend von den definierten Parametern und Leistungsdaten wurden mittels Korrelationen Näherungen errechnet um durch Simulation Schwerpunkte in der DeltaTube zu lokalisieren. Aus der Definierung der Schwerpunkte bzw. «Bottlenecks» des Wärmetauschers wurde in Dymola eine Simulation aufgebaut. Zuerst wurde der Stirling Prozesses modelliert. Dieser Prozess wurde in einem zweiten Schritt an zwei Wasser-Glykol Kreisläufe angeschlossen sowie ein Rekuperator eingesetzt. Auf Basis dieses Models wurde das Übertragungsverhalten sowie der Einfluss der Frequenz auf die Wärmeförderung untersucht.

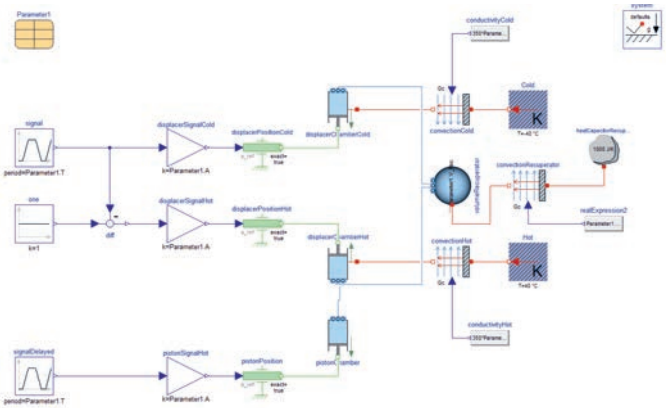


Abb. 3: Aufbau Simulation

Ergebnis

Eine Wärmeförderung konnte mit dem vorgegebenen Stirling Prozess bzw. Parametern nicht modelliert werden. Trotz starker Vereinfachung konnte die Energie nicht von der kalten auf die warme Seite gefördert werden. Aufgrund dieses Ergebnisses konnte auch keine genaue Untersuchung des Wärmetauschers stattfinden. Jedoch zeigt sich im Verlauf der Simulation, dass eine Änderung der Kolbenfrequenz einen massgeblichen Einfluss auf die Kälteleistung hat, wie in Abb. 4 ersichtlich. Im oberen Bild ist der Wärmeeintrag pro Frequenz und Zyklus zu sehen. Im unteren Bild ist die gesamthaft erbrachte Leistung zu sehen. Daraus ist erkenntlich, dass bei einer Frequenz von 20 Hz fast die 2-fache Leistung erbracht werden kann im Verhältnis zu 50 Hz. Aufbauend auf dieser Erkenntnis wird die DeltaTube nun angepasst und neu ausgelegt. Der geplante Teststand wurde pausiert und wird erst nach einer Überarbeitung ausgeführt werden.

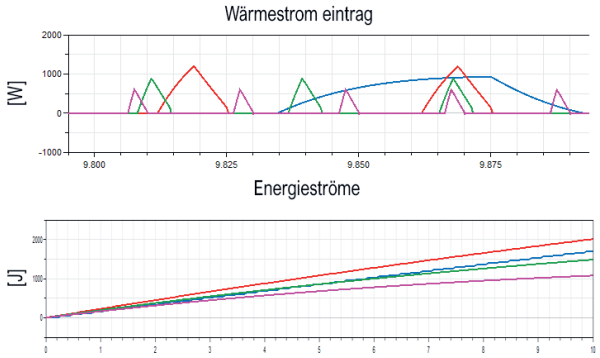


Abb. 4: Auszug Resultate, Blau f=5 Hz, Rot f=20 Hz, Grün f=35 Hz, Pink f=50 Hz

Diplomand Niederberger Daniel
Dozent Prof. Dr. Auerswald Janko
Projektpartner V-ZUG AG
Experte Dr. Lehr Andreas
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Serientaugliche Charakterisierung von PECVD Schichten

Ausgangslage
Im Inneren von Backöfen, Steamern und Combi-Steamern werden unterschiedliche Oberflächen eingesetzt. Beim Combi-Steamer wird eine Edelstahl-Muffel verwendet. Bei erhöhten Temperaturen (ab ca. 200°C) entstehen Anlassfarben, die mit einem erniedrigten Lochfrasspotential einhergehen. So kann im Betrieb durch eine Anreicherung von Chloridionen Lochfrasskorrosion auftreten. Dies kann durch eine geeignete Beschichtung verhindert werden. Zudem kann eine «easy-to-clean» Eigenschaft erreicht werden.

Um die Eigenschaften der Beschichtung in der Serienproduktion überwachen zu können, müssen Prüfverfahren mit einer schnellen und einfachen Handhabung vorliegen. Hierfür sollte eine Handlungsempfehlung für die Serienproduktion erarbeitet werden.

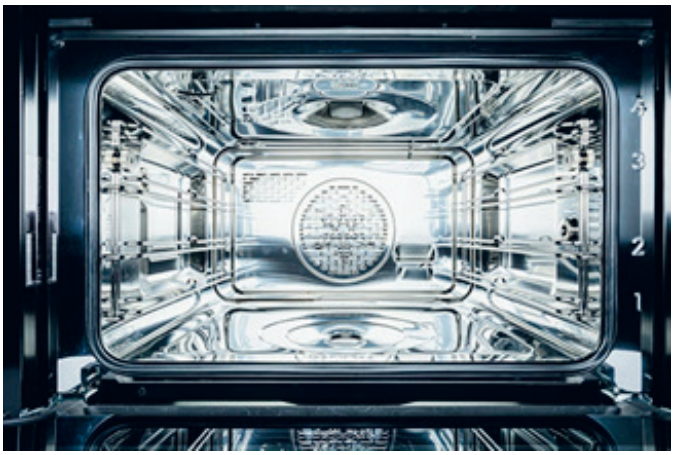


Abb. 1: Unbeschichtete Edelstahlmuffel eines Combi-Steamers der V-ZUG AG

Vorgehen
Zu Beginn dieser Arbeit wurden die Prüfkriterien bzw. die Anforderungen der Schicht mit dem Projektpartner definiert. Durch eine Recherche wurden mögliche Prüfverfahren ermittelt. Wichtige Eigenschaften, die geprüft werden müssen, sind z.B. die Schichtdicke, die Haftfestigkeit auf dem Substrat und die Antihafteigenschaft (Oberflächenenergie).

Um den grössten Nutzen zu generieren, wurden die verschiedenen Prüfverfahren mit einer Nutzwertanalyse bewertet. Die Prüfverfahren mit den besten Bewertungen wurden näher betrachtet und praktisch angewendet. Anschliessend wurden die Verfahren und Ergebnisse der Qualitätsabteilung aufgezeigt, sodass deren Rückmeldungen in die Handlungsempfehlung miteinfliessen konnten.

Ergebnis
Die Schichtdicke liegt im Nano- bis Mikrometerbereich. Eine geringe Abweichung der Schichtdicke zeigt sich bereits in einer unterschiedlichen Farbwahrnehmung. In der Abb. 2 ist dies dargestellt. Mithilfe eines Reflektometers kann die Schichtdicke gemessen werden.

Abb. 2: Unterschiedliche Farben deuten auf eine inhomogene Schichtdicke hin

Mit einem Gitterschnitt kann die Haftfestigkeit der Beschichtung ermittelt werden. Ist die Haftung akzeptabel, so liegen keine oder nur geringe Ablösungen vor. Bei einer schlechten Haftung liegt ein grosses Ablösungsgebiet vor.

Durch die Verwendung eines Kontaktwinkelmessgeräts konnte auf die Antihafteigenschaft zurückgeschlossen werden. In der Abb. 3 sind zwei Kontaktwinkel, die durch zwei unterschiedliche Flüssigkeiten entstehen, dargestellt. Wasser ist eine polare und Diiodmethan eine disperse (unpolare) Flüssigkeit.

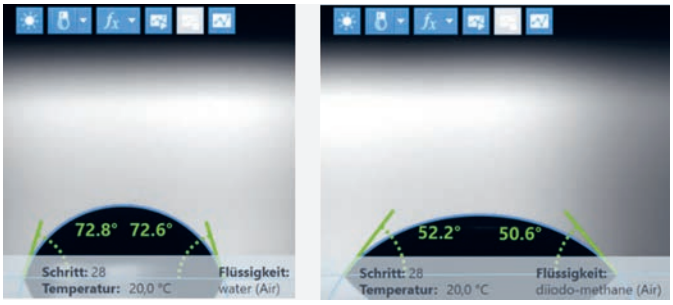


Abb. 3: Kontaktwinkel eines Wasser- und eines Diiodmethantropfens; ein grosser Winkel bedeutet eine schlechte und ein kleiner Winkel eine gute Benetzung

Diplomand Rey Fabian
Dozent Dipl. Ing. ETH De Angelis Marco
Projektpartner AC Schwimmbadtechnik AG
Experte Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Hubboden für das Edelweissbecken

Ausgangslage

Die AC Schwimmbadtechnik AG stellt Schwimmbäder für den privaten Gebrauch her. Dabei werden die Kundenwünsche wahrgenommen und die Träume verwirklicht. Damit das Schwimmbad die Sicherheitsvorschriften erfüllt, sind verschiedene Komponenten im Einsatz, wie zum Beispiel die Lamellenabdeckung (Abb.1). Für ein Edelweissbecken mit der Baugrösse 8m X 3.6m soll ein Hubboden entwickelt werden, welcher die Lamellenabdeckung ersetzt. Mit dem Hubboden muss das Wasserniveau stufenlos eingestellt und der Pool sicher geschlossen werden können. Der Hubboden soll mit der eigenproduzierten Wasseraufbereitungsanlage AcDynamic angesteuert werden können. Der gewonnene Platz soll als Terrasse genutzt werden, wenn das Schwimmbad geschlossen ist.

Abb. 1: Edelweissbecken mit Lamellenabdeckung

Vorgehen

Nach einer Recherche und dem Abstecken der Rahmenbedingungen wurde die Anforderungsliste erstellt und mit dem Industriepartner besprochen. Danach wurden Abschätzungen gemacht, damit die ungefähren Grössen und Kräfte bekannt sind. Es wurden die wichtigsten Teilfunktionen aufgelistet und beschrieben, welche der Hubboden erfüllen muss. Mit den Teilfunktionen wurde eine systematische Lösungsfindung mittels dem Morphologischen Kasten und der Nutz-/ Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Durch die Lösungsfindung wurde ein robustes Lösungskonzept erarbeitet. Das Lösungskonzept wurde in einem weiteren Schritt im Edelweissbecken angeordnet. Desweitern wurden die nötigen Bauteile dimensioniert und ausgelegt. Damit das Lösungskonzept getestet werden kann, wurde ein Funktionsmuster im Siemens NX CAD Programm erstellt (Abb.2). Das Funktionsmuster wurde mit den Baugrössen 3.6m X 1.6m gebaut und getestet. Anschliessend wurden die konstruierten Komponenten in das Edelweissbecken eingebracht.

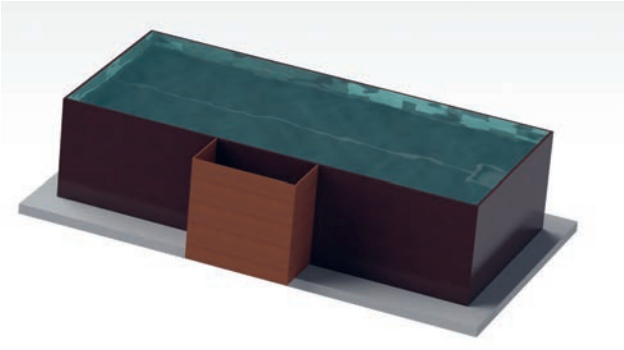


Abb. 2: Hubboden im Edelweissbecken halb geöffnet

Ergebnis

Das erarbeitete Lösungskonzept konnte mittels dem Funktionsmuster in der Baugrösse 3.6m X 1.6m getestet werden. Es stellte sich heraus, dass es ein sehr steifes System ist. Die Kosten wurden sehr gering gehalten, da es sich um ein einfaches System handelt, welches nicht auf den ersten Blick in Betracht gezogen wird. Der Hubboden konnte im Testbecken um 40 cm gesenkt werden und mit der Wasseraufbereitungsanlage AcDynamic angesteuert werden (Abb.3).

Abb. 3: Hubboden im Funktionsmuster eingebaut und 40 cm abgesenkt

Diplomand Rohrer Sven
Dozent Dipl. Ing. FH Lanter Joshua
Projektpartner Institut IME, CC Mechanische Systeme
Experte Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Prüfstand für Piezoantriebe

Ausgangslage
Die Reinigung der Zahnzwischenräume kann eine Herausforderung sein, da herkömmliche Zahnbürsten nicht effektiv an die Bereiche zwischen den Zähnen gelangen. Dadurch können Plaque und Speisereste in den Zwischenräumen verbleiben und zu Karies oder Zahnfleischerkrankungen führen. Das tägliche Reinigen der Zahnzwischenräume mit Zahnseide oder Interdentalbürsten ist mühselig und zeitintensiv. Um diese Problematik zu lösen, soll ein interdisziplinäres Team bestehend aus Fachleuten der Hochschule Luzern, der Fachhochschule Nordwestschweiz, der Universität Zürich und der Firma Curaden AG im Rahmen eines Innosuisse-Projektes ein Gerät zur Zahnreinigung entwickeln. Dieses Gerät soll mit einem Piezo-Aktor angetrieben werden (Abb. 1). Dieser Piezo-Aktor regt eine Reinigungsspitze in dem Frequenzbereich von 250 Hz bis 40 kHz an. Ziel dieser Bachelor-Thesis war es, einen Messaufbau zu entwickeln und zu bauen, mit dessen Hilfe die Frequenz und die Amplitude der Reinigungsspitze untersucht werden kann.

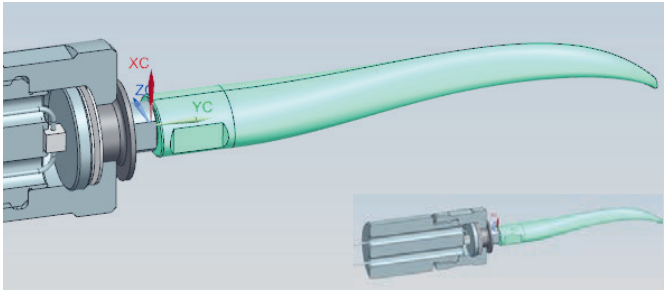


Abb. 1: Dentalreinigungsgerät, welches mit einem Piezo Aktor angetrieben wird

Vorgehen
Das Vorgehen bei dieser Arbeit lässt sich in vier Phasen aufteilen. In der ersten Phase wurde eine vertiefte Recherche durchgeführt. Der Fokus dieser Recherche lag auf der Funktionsweise von piezoelektrischen Elementen und der Wegmessung bei hohen Anregungsfrequenzen. Die nächste Phase war die Konzeptphase, in dieser wurde mit Hilfe eines morphologischen Kastens ein Lösungskonzept erarbeitet. Anhand dieses Konzeptes wurde mit Siemens NX ein 3D-Modell erstellt. In der anschliessenden Realisierungsphase wurde dieser Messaufbau gebaut und in Betrieb genommen. In der letzten Phase des Projektes wurden erste Tests durchgeführt. Zusätzlich wurde der Aufbau mit einer FEM-Analyse auf sein Schwingverhalten untersucht.

Ergebnis
Das Herzstück des fertigen Messaufbaus ist der Wegmesssensor. Bei diesem Sensor handelt es sich um einen Triangulations-Laserwegmesssensor. Dieser Sensor hat eine Abtastrate von rund 400 kHz und eine Reproduzierbarkeit von 20 nm. Befestigt ist dieser an einer Normprofilsäule, welche auf einer Aluminiumgrundplatte befestigt ist. Das Dentalreinigungsgerät ist in einer Aufspannvorrichtung eingespannt, welche sich örtlich verschieben und schwenken lässt (Abb. 2). Bei der Untersuchung mittels FEM-Simulation wurde festgestellt, dass die Schwingungen, welche an den Aufbau weitergegeben werden, das Messresultat nicht merklich beeinflussen sollten.

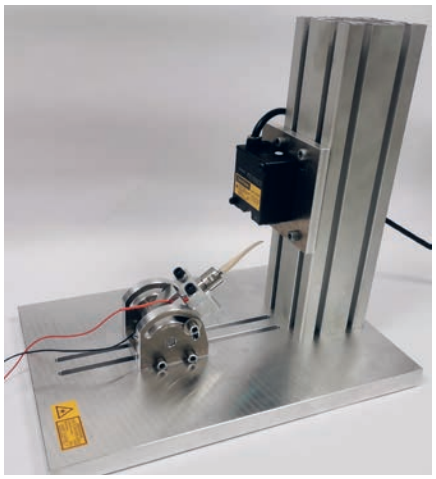


Abb. 2: Messaufbau mit eingespanntem Dentalreinigungsgerät

Diplomand Schmid Fabio
Dozent Prof. Romancuk Dejan
Projektpartner rabadesign GmbH
Experte Waeber Tobias
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung eines Rumpfes für ein E-Pedalo

Ausgangslage

Das Designbüro rabadesign GmbH entwickelt in Zusammenarbeit mit der Hochschule Luzern ein E-Pedalo. Sechs vorhergehende Industriearbeiten befassten sich mit der Entwicklung des E-Pedalos. Orientiert an einem E-Bike wurde ein Konzept von einem elektrisch angetriebenen Pedalo ausgearbeitet. Weiter wurde eine Marktanalyse durchgeführt, das Konstruktionskonzept erarbeitet und die Rumpfform finalisiert. Anhand der Rumpfform wurden hydrostatische und hydrodynamische Rumpfkennwerte analytisch ermittelt. Eine Konzeptstudie des E-Pedalos ist in der Abb. 1 zu sehen. Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist, ein Rumpfmodell für einen Prototypen zur Verifizierung der Bauweise zu entwickeln. Mit dem Prototyp sollen Rumpfeigenschaften im Wasser getestet werden. Allenfalls kann der Prototyp auch als Vorführmodell genutzt werden.

Abb. 1: Konzept E-Pedalo (R. Bachschmid, 2023)

Vorgehen

In der ersten Phase der Bachelorarbeit wurden die Anforderungen an den Prototyp identifiziert. Das erforderte ein Verständnis der benötigten Tests im Wasser. In der zweiten Phase wurden Konstruktionskonzepte erarbeitet, welche mit geringem Aufwand und niedrigen Kosten verbunden sind. Der Prototyp wurde anschliessend im CAD konstruiert (Abb. 2). Neben dem Berechnen der Festigkeit des Prototyps wurden die Finanzierung und die Bestellung des nötigen Materials geplant. Für die Planung des Baus des Rumpfmodells oder Teilmodells wurde ein Arbeitsplan mit den nötigen Arbeitsschritten erstellt. In der dritten Phase der Bachelorarbeit wurde das vorgesehene Modell gebaut.

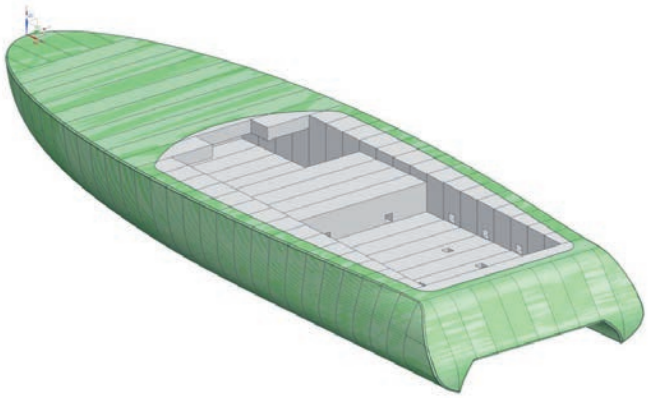


Abb. 2: CAD-Konstruktion des Rumpfmodells

Ergebnis

Das Entwicklungskonzept des E-Pedalos und die Anforderungen an den Prototypen wurden überarbeitet. Es wurden verschiedene Konstruktionskonzepte des Prototyps entworfen und miteinander verglichen. Der Prototyp besteht aus einer Positivform, die mit glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) überzogen ist. Der Aufbau der Positivform und des GFK wurde festgelegt. Eine detaillierte Kostenschätzung wurde erarbeitet, um die Finanzierung für den Bau des Prototyps abzuklären. Mit dem Bau des Mock-Up des Bugbereichs (Abb. 3) wurden Arbeitsschritte verifiziert und Herstellprobleme untersucht. Dank den Kenntnissen aus dem Bau des Mock-Up kann gezielt mit dem Bau des Prototyps begonnen werden.

Abb. 3: Mock-Up Bugbereich für die Verifizierung der Arbeitsschritte

Diplomand Schürmann Giulio
Dozent Prof. Dr. Auerswald Janko
Projektpartner Pfisterer Switzerland AG
Experte Dr. Lehr Andreas
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Creating a calculation tool for compression fittings

Ausgangslage
Für Pressabspannklemmen, welche bei Hochspannungsleitungen im Einsatz sind (Abb.1), soll die theoretische Dehnung der Aluminiumrohre genauer ermittelt werden. Die Rohre wurden bisher als Nicht-zerstörende Prüfung auf Dehnung vor und nach dem Verpressen gemessen. Das Assembly der Pressabspannklemmen variiert hierbei je nach Typ des Leiterseils, dessen Material und Dimensionen. Inhalt dieser Bachelorarbeit ist es, diese Dehnung generell für verschiedenste Typen von Pressabspannklemmen zu ermitteln und ein Berechnungstool dafür zu erstellen.

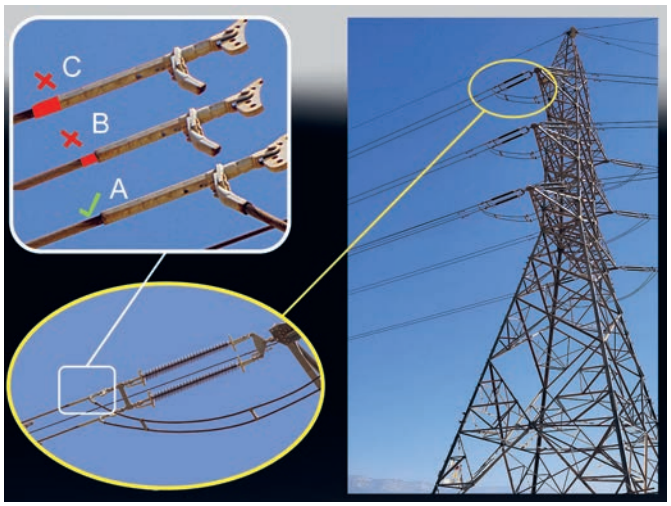


Abb. 1: Pressabspannklemme, montiert an einem Abspannmast einer Hochspannungsleitung (Quelle: Pfisterer Switzerland AG)

Vorgehen
Vier initialen Prüflinge mit der Leiterseil des Typen «Condor» wurden verpresst und ausgemessen. Diese Prüflinge wurden des Weiteren aufgeschnitten, unter dem Mikroskop und in einem CT analysiert und ausgewertet. Dies diente dem Zweck, ein Verständnis für das geometrische Verhalten beim Verpressen einer Pressabspannklemme zu erlangen. Die gemachten Erkenntnisse wurden in einem Excelfile zu einem Berechnungstool zusammengefügt. Das Tool wurde später mit weiteren Proben von anderen Pressabspannklemmentypen optimiert und verifiziert.

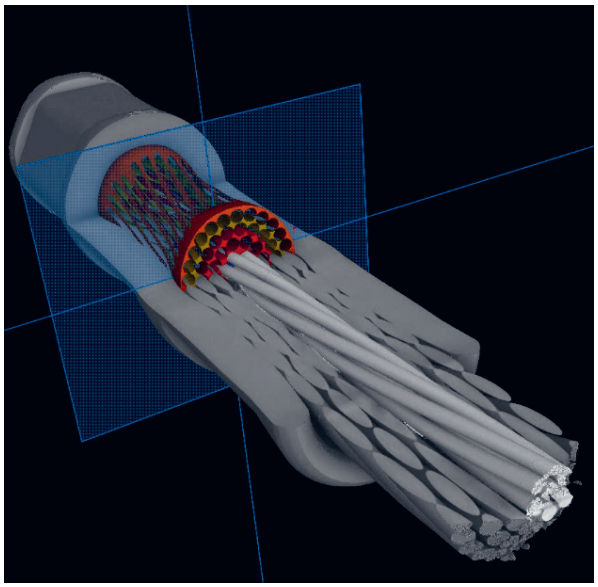


Abb. 2: Computertomografie einer Pressabspannklemme (Visualisierung der Hohlräume)

Ergebnis
Die Pressabspannklemmen zeigten ein geometrisches Verhalten, welches aufwändig berechenbar ist.

Durch geometrische Gemeinsamkeiten und weitere Annahmen während der Analyse konnte jedoch ein Berechnungstool erstellt werden, welches sich an die Werte annähern konnte.

Das Tool kann nach dieser Bachelorthesis noch weiter optimiert werden, da dieses zum Zeitpunkt nur auf den Daten von vier Pressabspannklemmtypen basiert.

Diplomand Soland Olivier
Dozent Prof. Dr. Kamps Rolf
Projektpartner Institut IME, CC Mechanische Systeme
Experte Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Elektrischer Antrieb als Nachrüstbausatz für Rodelschlitten

Ausgangslage
In Skigebieten, an Rodelpisten und auch in autofernen Feriendestinationen werden Schlitten genutzt, um Kinder den Hang hinaufzuziehen. Im Verlauf der Arbeit wird nun untersucht, wie - analog zum E-Bike - eine elektrische Unterstützung zur Fortbewegung aussehen kann. Das Konzept soll so gestaltet werden, dass ein Nachrüstbausatz für einen handelsüblichen Davoser Schlitten entwickelt wird. Neben den Anforderungen auf geringes Gesamtgewicht, Temperaturtauglichkeit im Winterbetrieb und einfache Nachrüstbarkeit ist insbesondere der Sicherheitsaspekt zu berücksichtigen. Basierend auf ein Konzept, dass in der Industriearbeit entwickelt wurde (Abb.1), wird diese Arbeit die Idee bis zum Prototypen weiterentwickeln.

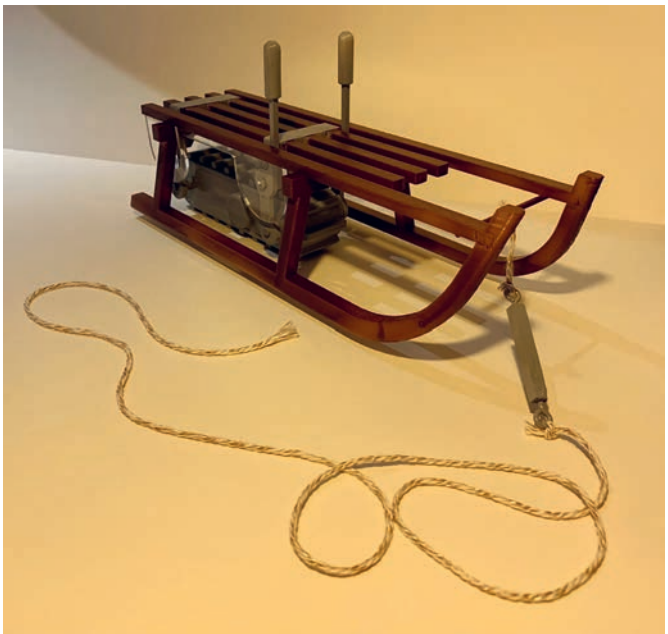


Abb. 1: Funktionsmodel 3D-gedruckt, Ausgangslage nach Industriearbeit

Vorgehen
Nach Analyse der Aufgabenstellung gliedert sich die Lösungsfindung in den Bereich der Lösungssuche und Lösungsgenerierung. Über eine Recherche wurden Analogien zu einem möglichen Antriebskonzept gesucht. Die gefundenen möglichen Lösungen für Teilfunktionen wurden in einem Morphologischen Kasten aufgeführt. Durch Durchführung einer Nutzwertanalyse wird das ausgeführte Konzept gefunden und einige Teillösungsvorschläge über das Tool der Variantenentwicklung auf die Anforderung optimiert. Das Lösungskonzept wird komplett mittels der CAD-Software Siemens NX® als Datenmodell aufgebaut. Dadurch konnten Bauteile mittels 3 D Druckverfahren hergestellt werden. Hier gilt es auch, die richtige Werkstoffauswahl für die verschiedenen Bauteile mit ihren spezifischen Anforderungen zu wählen. Die elektronischen Komponenten müssen ausgewählt sowie die Regelung entwickelt und in Betrieb genommen werden.

Ergebnis
Der gefertigte Prototyp (Abb. 2) ist modular an einem Schlitten nachrüstbar. Der Sensor im Zugseil ermittelt die eingeleitete Zugkraft und aus diesem Eingangssignal ermittelt die Steuerungselektronik die zur Verfügung gestellte Leistung der Antriebsmotoren. Im Schubbetrieb stabilisiert sich die Antriebseinheit ohne grosse Bedienkräfte in Arbeitsposition. Bei der Hangfahrt kann der Antrieb in eine Ruheposition gerastet werden, so dass keine Bremswirkung von den Antriebswalzen eingeleitet werden kann. Alle Quetsch- und Einzugsstellen werden durch Schutzvorrichtungen gesichert. Der gesamte Nachrüstbausatz hat ein Gesamtgewicht von etwa 5 kg. Die Leistungsfähigkeit und Funktionsfähigkeit des Zusatzantriebes sind in Versuchen nachgewiesen.

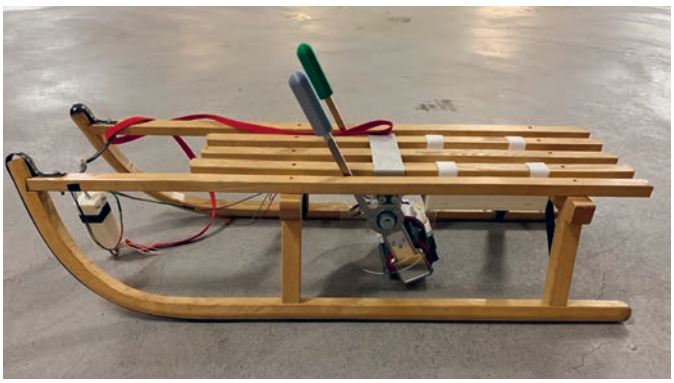


Abb. 2: Erstellter Prototyp

Diplomand Stalder Nico
Dozent Dipl. Ing. FH Lanter Joshua
Projektpartner GALVABAU AG
Experte Dipl. Ing. FH Dubach Roger
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Trocknungskonzept für Leiterplatten

Ausgangslage
Die GALVABAU AG entwickelt und fertigt seit über 35 Jahren Anlagen für Galvanotechnik.

Nach dem Beschichtungsprozess durchlaufen die Teile mehrere Spülbäder und einen Trocknungsprozess. Für die Trocknung in der Leiterplattenindustrie verwendet die GALVABAU AG aktuell Umlufttrockner (Abb. 1). Diese funktionieren gut, sind jedoch energieaufwändig, langsam und schlecht zu warten.

Ziel dieser Arbeit ist den bestehenden Trockner zu analysieren und ein effizienteres Trocknungskonzept zu entwickeln.

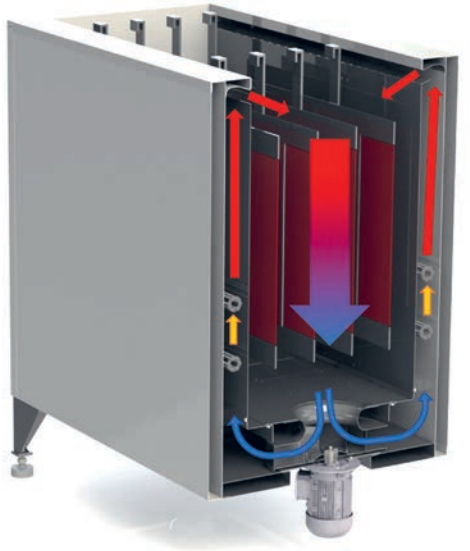


Abb. 1: Umluftschaubild bestehender Trockner

Vorgehen
Die Arbeit unterteilt sich in die Konzept- und Realisierungsphase. Die Analyse des bestehenden Umlufttrockners besteht aus einer System- und Funktionsanalyse. Damit ist ein Wirkungsgrad von 40 % nachgewiesen worden.

Um das benötigte Know-How zu erlangen, wurden eine Technologierecherche und mehrere Versuche durchgeführt. Ein Abblasversuch wurde mit dem entwickelten Lösungsprinzip für die Teilfunktion Trocknen durchgeführt (Abb. 2). Anschliessend wurden verschiedene Prinzip-Kombinationen erarbeitet und ein Lösungskonzept ausgearbeitet. Die Umsetzung erfolgt in SolidWorks2022 und dessen Wirtschaftlichkeit ist überprüft.

Abb. 2: Eigenbau des Air Knife Prototyps

Ergebnis
Das neue Trocknungskonzept besteht aus einer Vortrocknung und einer Haupttrocknung. In der Vortrocknung wird das Wasser durch Vibration von den Leiterplatten abgetragen. Die Haupttrocknung wird mit einem Abblassystem durchgeführt. Dieses System besteht aus zwei Air Knives, welche horizontal an den Leiterplatten vorbei bewegt werden (Abb. 3).

Der Energieaufwand, um einen Warenträger zu trocknen, kann im Vergleich zum Umlufttrockner halbiert werden. Auf Grund der komplexeren Bauweise wird de Trockner jedoch teurer. Die Amortisation beträgt 1.5 Jahre.

Abb. 3: Trocknungsstation ohne Deckelsystem, Abdeckungen und Seitenkanalverdichter

Diplomand Summermatter Marc
Dozent Prof. Dr. Auerswald Janko
Projektpartner Aerolite AG
Experte Dr. Lehr Andreas
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Requalifizierung von Faserverbundmaterialien

Ausgangslage

Die Aerolite AG ist ein führender Hersteller von kundenspezifischen medizinischen Ausrüstungen für Rettungshelikopter und Ambulanzflugzeuge. Dabei werden zur Fertigung diverser Bauteile Prepreg genutzt (preimpregnated fibres/mit Harz vorimprägnierte Faserverbundmaterialien).

Abb. 1: Eine aus Kohlefaser-Prepreg hergestellte Plattform zum Transport von Patienten

In der Luftfahrt und in der Medizintechnik eingesetztes Equipment unterliegt strengen Regularien und Nachweisführungen. Um zu garantieren, dass Bauteile die strengen Anforderungen an ihre Festigkeit erfüllen, müssen alle Komponenten statischen Tests unterzogen werden oder über eine Festigkeitsanalyse mit Hilfe von FEM-Berechnungen nachgewiesen werden. Dies wird gemacht, um einen sicheren Betrieb des Luftfahrzeuges zu garantieren. Deshalb werden Materialwerte über die Festigkeit der Prepregs benötigt.

Ausserdem ist die Handhabung von Prepregs sehr aufwändig. Die Materialien müssen bei niedrigen Temperaturen gelagert werden. Diese Temperaturen müssen kontinuierlich überwacht und dokumentiert werden. Trotzdem limitieren Hersteller von Prepregs die Haltbarkeit (shelf life) ihrer Produkte bei sachgemässer Handhabung auf einen geringen Zeitraum. Nach Ablauf dieser Zeit werden die mechanischen Eigenschaften nicht mehr garantiert und das Material darf nicht mehr für strukturell relevante Bauteile verwendet werden. Die Konsequenz ist, dass die abgelaufenen Prepregs oftmals nicht restlos aufgebraucht sind und entsorgt werden müssen.

Vorgehen

Um die Faserverbundmaterialien untereinander vergleichen, austauschen und requalifizieren zu können, sollen die mechanischen Eigenschaften von verschiedenen Materialien erfasst werden. Um die mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Materialien zu ermitteln, werden Zug-, Druck-, Kurzbiege- sowie Lochleibungstests durchgeführt.

Zusätzlich wurde innerhalb dieser Arbeit ein Vorschlag für einen Prozess entworfen, um abgelaufene Prepreg-Materialien mit Hilfe verschiedener Tests zu untersuchen und eine Aussage über die Prepreg-Qualität zu machen.

Abb. 2: CFK-Testsamples 21 bis 24 zur Ermittlung mechanischer Festigkeitswerte

Ergebnis

Die geplanten Tests zur Ermittlung der Festigkeitswerte der verschiedenen Prepregs konnten erfolgreich durchgeführt werden. Je nach Test wurden Ergebnisse für Bruchspannung, Bruchdehnung und E-Modul für verschiedene Materialien ermittelt.

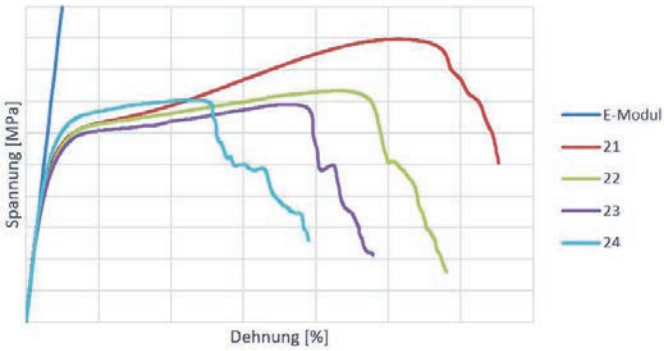


Abb. 3: Ergebnis der Kohlefaser-Testsamples 21 bis 24 nach dem Zugversuch zur Ermittlung der Bruchspannung, Bruchdehnung und E-Modul

Der Vorschlag für den Prozess zur Requalifizierung von Prepreg-Material konnte aufgrund von Lieferschwierigkeiten nicht vollständig innerhalb dieser Arbeit überprüft werden und soll zu einem späteren Zeitpunkt verifiziert werden. Dennoch konnten einige wichtige Ergebnisse mittels Micro-Computertomographie ausgewertet werden.

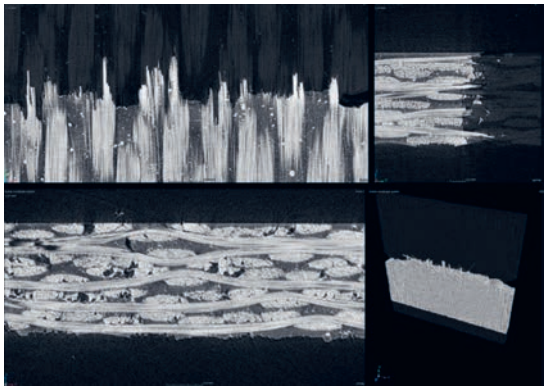


Abb. 4: Scan eines gebrochenen GFK-Testsamples mittels Micro-Computertomographie (µ-CT)

Diplomand Terracciano Jvan
Dozent Dipl. Ing. ETH De Angelis Marco
Projektpartner Sefag Components AG
Experte Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Litzenringe crimpen

Ausgangslage
Die Firma Sefag Components AG entwickelt und produziert Verbindungskomponenten für elektrische Anlagen. Dabei wurde sie von einem Kunden angefragt, ob es möglich wäre, ein neues Produkt für ihn herzustellen. Bei diesem Auftrag handelt es sich um zwei unterschiedlich grosse Kupferringe, die über mehrere Kupferlitzen miteinander verbunden werden. Dieser Vorgang, der als sichere Methode den elektrischen Kontakt garantiert, wird als Crimpen bezeichnet. In diesem Fall wurde die Kupferlitze in einem ersten Schritt in eine bestimmte Bohrung im Kupferring gesteckt, um sie in einem zweiten Schritt mit einem dafür vorgesehenen Werkzeug auf die Aussenseite der Bohrung zu drücken. Durch die plastische Verformung der Bohrung wird eine sichere Verbindung zwischen den beiden Komponenten hergestellt. Hier stellt sich nun die Aufgabe, diesen Prozess zu analysieren, Tests an Mustern durchzuführen und eine geeignete Konstruktion zu entwerfen.

Abb. 1: Silikonabguss für CAD-Modell

Vorgehen
Die Arbeit gliedert sich im Wesentlichen in drei Phasen: Analysieren, Testen und Entwerfen.

In einem ersten Schritt wurden Recherchearbeiten bezgl. des Crimpens durchgeführt. Dabei sollte festgestellt werden, wie vorgegangen werden muss, welche Fehler entstehen können und wie dies anschliessend geprüft wird. Als Nächstes wurden aus den Kundenmustern diverse Prüflinge herausgetrennt und bearbeitet, damit auf der Zugprüfanlage „Zwick Z150 kN; Traversenweg“ die Haltekraft der Crimpung getestet werden konnte.

Danach wurde aufgrund der Daten ein eigenes Werkzeug gem. Abb. 1 im CAD erstellt und gefräst, um anschliessend mit dem selbst hergestellten Werkzeug auf einer Hydraulikpresse (Stenhoj 40) der Sefag Components AG eine Crimpung durchzuführen. Nach dem ersten erfolgreichen Versuch wurden mehrere mögliche Szenarien für den Crimpvorgang ausgearbeitet und durchgeführt. Danach wurden die jeweiligen Prüflinge wiederum im Prüflabor der HSLU in Horw getestet, um die verschiedenen Einflussfaktoren (Tiefe, Abstand zur Aussenkante und Bohrungsdurchmesser) zu prüfen. In einem letzten Schritt wurde schliesslich eine CAD-Konstruktion erstellt, mit der dieser Gesamtprozess in einer Aufspannung durchgeführt werden kann.

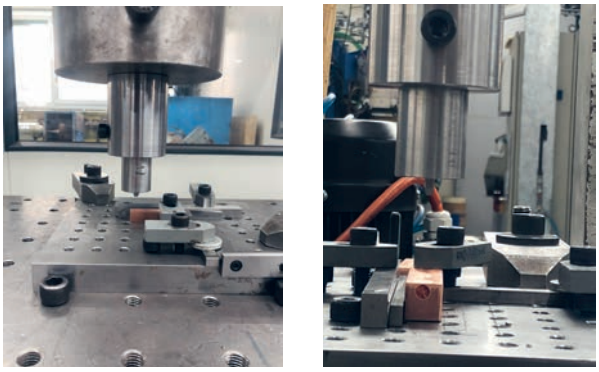


Abb. 2: Eigene Crimpung durchführen

Ergebnis
Nachdem alle Tests durchgeführt und ausgewertet worden sind, zeigte sich anhand einer Varianzanalyse, dass die definierten Faktoren alle voneinander abhängig sind. Somit konnte auch eine klare Anforderung an die Crimpung gestellt werden, die eingehalten werden muss, damit sowohl eine sichere mechanische als auch elektrische Stromübertragung stattfinden kann.

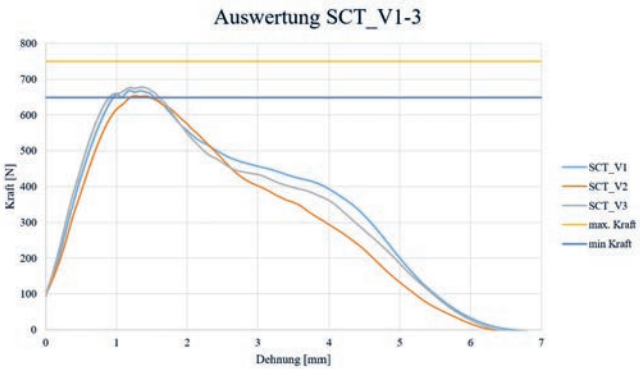


Abb. 3: Resultat der erfolgreichen Crimpung mit dem eigenen Werkzeug und nach Crimpung des Kundenmusters

Diplomand Thalmann Mike
Dozent Prof. Dr. Kamps Rolf
Projektpartner Müller Martini AG
Experte Dipl. Ing. ETH Haller Ruedi
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Entwicklung einer Book of One Entstapelung

Ausgangslage

In der heutigen Buchproduktion werden immer mehr Bücher auf Bestellung produziert. Dadurch müssen die Maschinen von Müller Martini vollautomatisch ohne Handeingriffe auf die unterschiedlichen Bücher eingestellt werden (Book of One).

Abb. 1 zeigt eine mögliche Anlage, bei welcher aus einer bedruckten Papierbahn (Nr.1) ein Buch hergestellt wird. Um den Output des Falzaggregates (Sigmaline) zu erhöhen (Nr.2) und gleichzeitig die Transportgeschwindigkeit zu reduzieren, werden bereits heute die einzelnen Buchblöcke gestapelt. Für die Weiterverarbeitung zum fertigen Buch müssen die Buchblöcke einzeln den nachfolgenden Maschinen zugeführt werden (Nr.4-5). Aus diesem Grund braucht es eine Entstapelung, welche die Buchblockstapel wieder vereinzelt (Nr.3). Die Reihenfolge der Buchblöcke darf dabei nicht verändert werden, deshalb muss zuerst das unterste Buch aus dem Stapel ausgefördert werden.

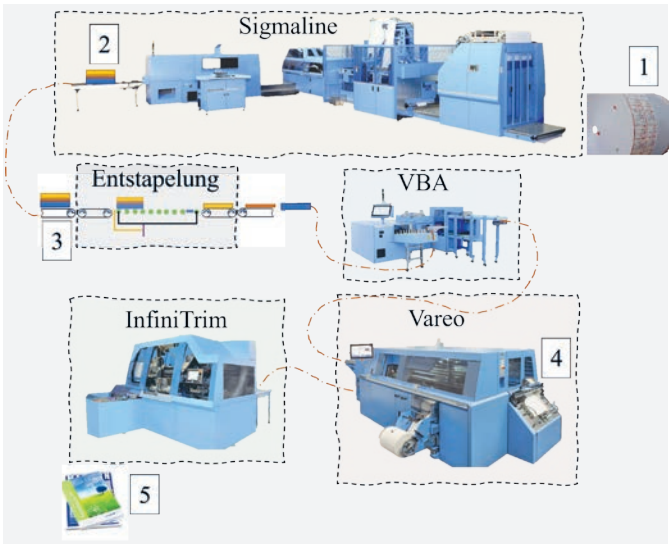


Abb. 1: Ausgangslage

Im Rahmen eines Industrieprojektes wurde ein Konzept für eine vollautomatische, dickenvariable Entstapelung erarbeitet, die jeweils das unterste Produkt zuerst ausfördert. Nun wurde mit der Bachelor-Thesis dieses Konzept weiterverfolgt.

Vorgehen

Mit der Hilfe eines morphologischen Kastens wurde zu den einzelnen Teilfunktionen der Entstapelung Teillösungen evaluiert und damit ein konkreter Gesamtlösungsvorschlag für die Umsetzung des Konzeptes erstellt. Dieser Gesamtlösungsvorschlag wurde anschliessend mit CAD detailliert umgesetzt.

Um sicher zu sein, dass die geforderte Dynamik erreicht werden kann, wurden sämtliche Antriebe sowie Pneumatikzylinder ausgelegt. Die Bewegungsabläufe wurden mithilfe einer Mehrkörpersimulation verifiziert. Abb. 2 zeigt den Bewegungsablauf vom Schwenktisch, welcher den Stapel in eine Schieflage versetzt.

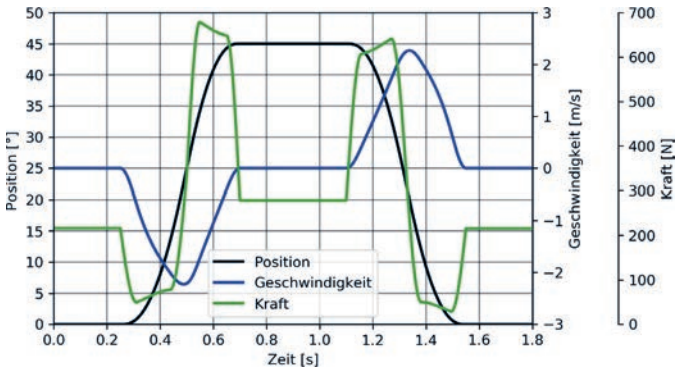


Abb. 2: Position, Geschwindigkeit und Kraftverlauf beim Antrieb vom Schwenktisch

Ergebnis

Durch eine Bewegungssimulation konnte bewiesen werden, dass mit diesem Konzept die geforderte Leistung erreicht werden kann. In der Abb. 3 ist die mit CAD realisierte Entstapelung dargestellt.

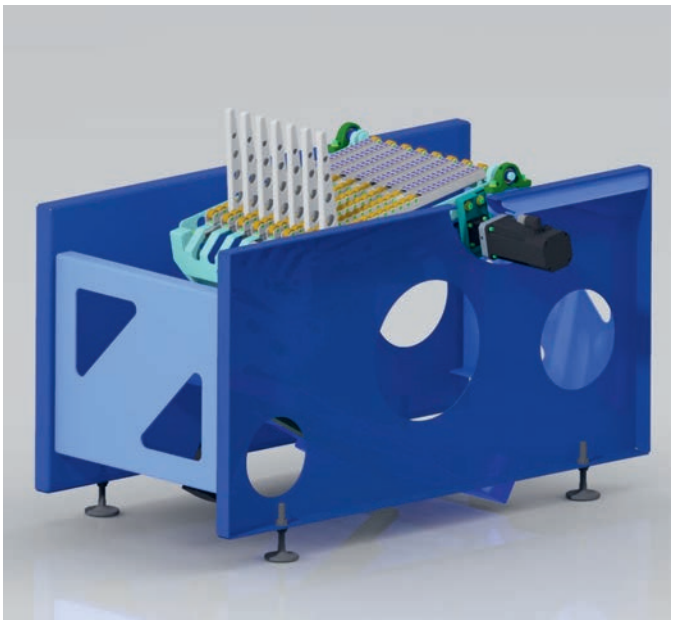


Abb. 3: Konstruierte Entstapelung

Diplomand Waldvogel Gabriel
Dozent Dr. Deniz Sabri
Projektpartner Institut IME, CC Fluidmechanik und numerische Methoden
Experte Dr. Schlienger Joel
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Unterdrückung der Instabilitäten an Pumpen mit Fluid Injektion am Eintritt

Ausgangslage

Bei Strömungsmaschinen können instabile Bereiche auftreten, welche unter anderem zu Festigkeitsproblemen, Lärmbildung, Schwingungen, Schaden an der Anlage sowie zu einer Abnahme des Wirkungsgrads führen kann. Eine Förderhöhe–Volumenstrom Pumpenkennlinie ist instabil, wenn ihre Steigung positiv ist. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Messungen an einer Modell-Pumpe gemacht. Ziel war es, Wasserinjektion am Eintritt der Pumpe durchzuführen, deren Auswirkungen auf die bestehende Strömung zu verstehen, die Steigung der Pumpenkennlinie zu ändern und den Betriebsbereich zu erweitern. Dabei wurden Versuche mit verschiedenen Diffusor-Öffnungswinkeln durchgeführt. Weiter sollten die Ergebnisse dieser Arbeit mit denen vergangener Arbeiten (Fluid Injektion und Fluid „Suction“ im unbeschaufelten Raum) verglichen und ausgewertet werden. Durch die Strömungsinjektion sollte der instabile Bereich behoben werden. Abb. 1 zeigt die Pumpenkennlinie ohne Fluid-Injektion, mit Fluid Injektion am Eintritt und Fluid Injektion im unbeschaufelten Raum.

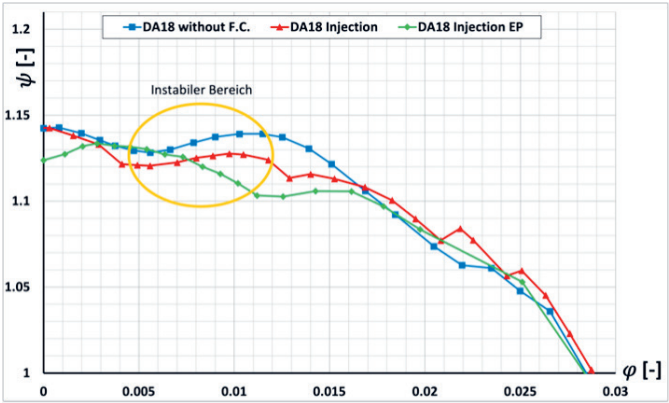


Abb. 1: Pumpenkennlinien verschiedener Fluid Control Arten

Vorgehen

Die Arbeit unterteilt sich in die drei Phasen: Messen von Pumpenkennlinien ohne Fluid Control, Messen von Pumpenkennlinien mit Fluid Control (d.h. Fluid Injektion am Eintritt) und Auswerten der Daten mittels Diagramme und Schwingungsanalyse. Anschliessend wurden Versuche mit Fluid-Injektion am Eintritt der Pumpe mit verschiedenen Düsen-Konfigurationen durchgeführt. Abb. 2 zeigt die Injektionsdüsen am Eintritt der Pumpe.

Für die Schwingungsanalyse wurde ein Programm geschrieben, welche dominante Frequenzen aufzeigen soll. Dafür wurden die Daten dreier Sensoren an der Maschine ausgewertet.

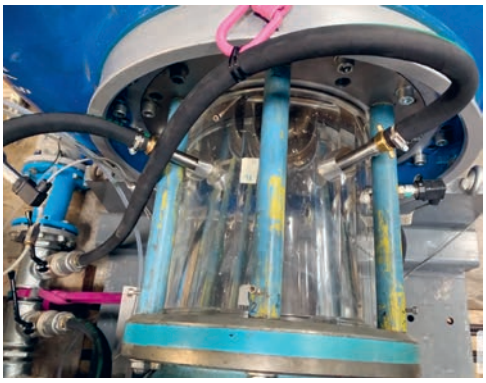


Abb. 2: Injektionsdüsen am Eintritt der Pumpe

Ergebnis

Der instabile Bereich konnte durch die Fluid-Injektion am Eintritt der Pumpe nicht behoben werden. Weiter zeigt sich ebenfalls im Vergleich der Schwingungsanalysen keine nennenswerten Veränderungen der Frequenzen durch die Fluid-Injektion. Durch den Vergleich mit vorhergehenden Arbeiten kann mit grosser Wahrscheinlichkeit gesagt werden, dass der instabile Bereich durch die Strömung im unbeschaufelten Raum verursacht wird und dort mittels Flow-Control behoben werden kann.

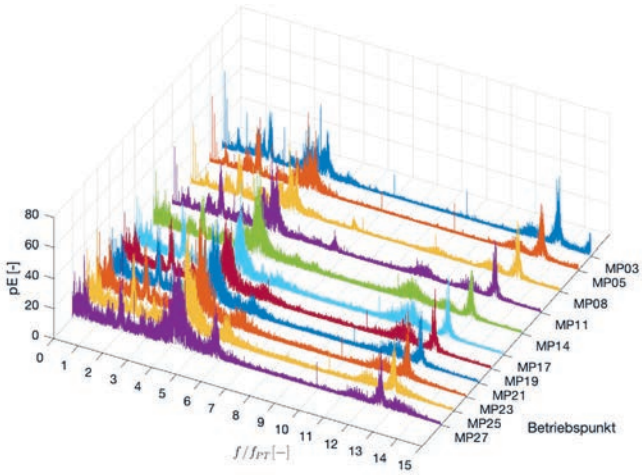


Abb. 3: Auswertung der Datenpunkte der Suctionside mittels Schwingungsanalyse

Diplomand Walker Manuel
Dozent Prof. Baumann Ralf
Projektpartner Stöckli Swiss Sports AG
Experte Dipl. Ing. ETH Bucher Beat
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Untersuchung alternativer Ski-Konstruktionen mittels Simulationsmodellen

Ausgangslage
Die Firma Stöckli Swiss Sports AG ist ein bekannter Schweizer Ski Hersteller. Ihre Ski werden in Sandwichbauweise hergestellt. Es werden eine Vielzahl an verschiedenen Schichten aus unterschiedlichen Materialien verbaut. Darunter befinden sich Schichten aus Titanal. Bei Titanal handelt es sich um eine spezielle Aluminiumlegierung mit hoher Fliessgrenze. Das Problem an Titanal ist, die begrenzte Verfügbarkeit und der hohe Preis in der Beschaffung. Das Ziel dieser Arbeit war es, eine alternative Lösung zu finden mit der die Menge an Titanal verringert werden kann, ohne die Performance des Skis negativ zu beeinflussen. Für die Performance eines Skis ist vor allem dessen Vorspannung und Steifigkeit entscheidend.

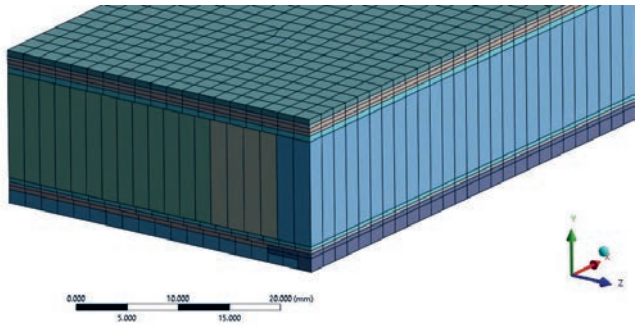


Abb. 1: Geometrie und Vernetzung des FEM-Modells (3D Volumenmodell) zur Bestimmung der Vorspannung und Biegesteifigkeit

Vorgehen
Für die Untersuchungen des Skis wurden mehrere Simulationsmodelle erstellt. In einem ersten Schritt wurde der Herstellprozess und der Schichtaufbau des Skis vereinfacht. Anhand des idealisierten Skis wurden drei Simulationsmodelle erstellt: ein analytisches Modell sowie zwei FEM-Modelle (2D ebener Spannungszustand und 3D Volumenmodell). Mit den Simulationsmodellen lässt sich die Vorspannung und Steifigkeit eines Skis bestimmen. Die Modelle wurden verifiziert durch den Vergleich der Resultate untereinander. Zur Validierung der Modelle wurden Messungen der Vorspannung herangezogen, die in einer früheren Masterthesis durchgeführt wurden. Der Einfluss verschiedener Änderungen am Schichtaufbau auf die Performance wurde mit einer Vielzahl an Parameterstudien untersucht.

Ergebnis
Die Simulationsergebnisse am aktuellen Schichtaufbau des Skis haben gezeigt, dass die Resultate der einzelnen Modelle zum Teil noch sehr stark voneinander abweichen. Die Modelle mit dem höchsten Detaillierungsgrad (3D Volumenmodell) können die Messungen sehr gut nachbilden, haben aber auch den Nachteil der deutlich höheren Simulationszeiten.

Die Parameterstudien geben Aufschluss über den Einfluss verschiedener Parameter auf die Eigenschaften des Skis. Es wurden unteranderem die Parameter Dicke, Anzahl und Länge der Titanalschichten untersucht. Die Ergebnisse der Parameterstudie zeigen, dass die Änderungen zum Teil einen sehr grossen Einfluss auf die Vorspannung und Steifigkeit des Skis haben.

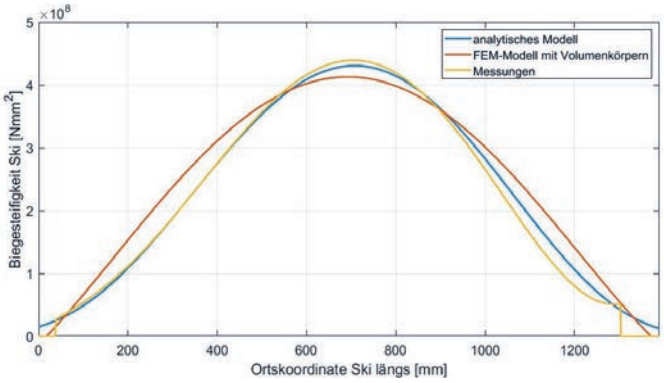


Abb. 2: Biegesteifigkeit für aktuellen Schichtaufbau ermittelt mit analytischem Modell, FEM-Modell (3D Volumenmodell) und aus Messungen

Diplomand	Waser Cyrill
Dozent	Prof. Dr. Schütz Philipp
Projektpartner	Institut IME, CC Thermische Energiespeicher / LUCI
Experte	Dr. Lieball Kai
Themengebiet	Energien, Fluide und Prozesse

Entwicklung einer Temperiervorrichtung für die Untersuchung von Phasenwechselmaterialien im Computertomographen

Ausgangslage

Das Kompetenzzentrum für thermische Energiespeicher an der Hochschule Luzern Technik & Architektur beschäftigt sich intensiv mit der Untersuchung von Phasenwechselmaterialien (PCM). Die benötigte Energie für den Phasenwechsel des PCMs ist dabei eine der treibenden Grössen für das Funktionsprinzip eines latenten thermischen Energiespeichers. Um geeignete PCMs zu finden und diese möglichst effizient zu nutzen ist es entscheiden, das PCM bei verschiedenen Temperaturen und -profilen untersuchen zu können. Dies geschieht unteranderem mittels eines Röntgen-Computertomographen (CT). Aktuell gibt es keine Vorrichtung, die es ermöglicht, eine PCM-Probe im CT auf verschiedene Temperaturen zu bringen und diese Temperaturen auch zu halten. Der Innenraum des CTs ist konstant auf 20°C temperiert. Stellt man eine PCM-Probe in den CT, wird sich die PCM-Temperatur automatisch den 20°C angleichen. Um den Temperaturangleich zu stoppen oder die PCM-Probe sogar aktiv zu Kühlen oder Erwärmen, bräuchte man eine Möglichkeit, der PCM-Probe Wärme zu- oder abzuführen.

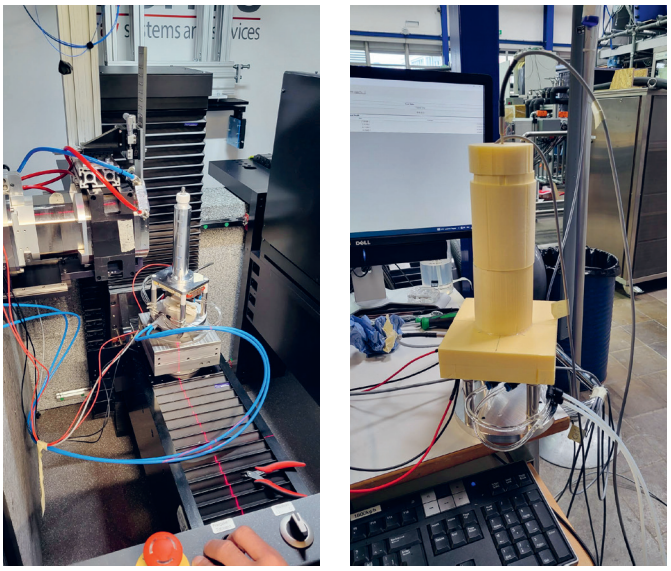


Abb. 1: links – Temperiervorrichtung im CT (ohne Isolation), rechts – Temperiervorrichtung im Prüfstand mit Isolation

Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde über den aktuellen Stand der Technologie von ähnlichen Anwendungsprinzipien wie z.B. Klimakammern, sowie möglichen Arten der Wärmeerzeugung und Kältebereitstellung recherchiert. Im Anschluss wurde mittels geeigneter Methoden evaluiert, welche Lösungsvarianten sich am besten eignen würden und basierend darauf, erste Prototypen entwickelt. Danach folgte die Testphase, wo die Prototypen getestet wurden, ob sie die Anforderungen erfüllen und allenfalls noch Verbesserungen vorgenommen werden müssen. Für den finalen Prototypen wurden anschliessend alle Herstellungsdokumentationen wie auch Inbetriebnahme -und Anleitungsbeschreibe erstellt.

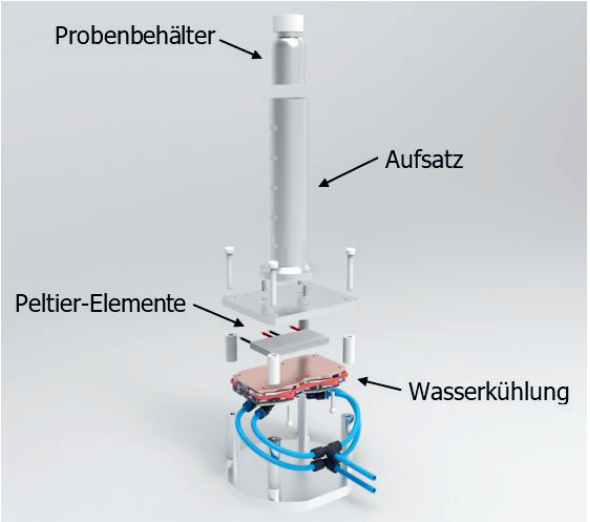


Abb. 2: Rendering der Temperiervorrichtung (ohne Isolation)

Ergebnis

Es ist gelungen, eine Vorrichtung zu bauen, die in der Lage ist, während einer CT-Untersuchung Phasenwechselmaterialien auf Temperaturen im Temperaturbereich von -30 bis 160°C zu bringen. Die Zu -und Abführung der Wärme wird mittels Peltier-Elementen realisiert. Die Kühlleistung, die bei -30°C noch erreicht wird, beträgt ca. 36W und die Heizleistung bei 160°C ca. 240W. Eine Herausforderung, die im Rahmen dieser Arbeit aus Zeitgründen noch nicht zufriedenstellend gelöst werden konnte, besteht darin, nicht auf die Temperatur der Peltier-Elemente zu regeln, sondern auf die des PCMs.

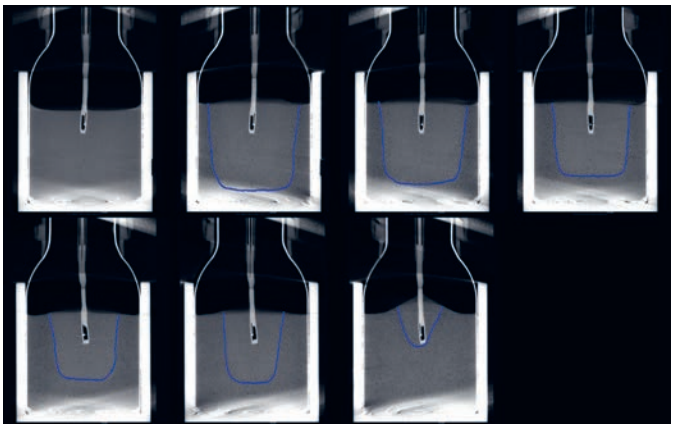


Abb. 3: CT-Rekonstruktionen einer H_2O Probe, welche während der CT-Untersuchung zu Eis erstarrte. (Phasenübergang nur schwach sichtbar)

Diplomand Wicki Kay
Dozent Dipl. Ing. FH Kirchhofer Pierre
Projektpartner Reiden Technik AG
Expertin B. Sc. ME Janssen Stephanie
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Konzeptionierung einer Starrtisch-Palettisierung für ein 5-Achsen Bearbeitungszentrum

Ausgangslage

Die Firma Reiden Technik AG entwickelt, produziert und vertreibt innovative und vollautomatisierte 5-Achsen Bearbeitungszentren. Diese werden nach den individuellen Wünschen der Kunden mit eigens entwickelten Palettenwechselsystemen ausgestattet. Die neueste Maschinenbaureihe RS2X besitzt aktuell eine Palettisierung mit einer maximalen Paletten-Abmessung von Ø1200 mm. Falls kein Wechselsystem gewünscht wird, kann die Maschine alternativ mit einem Starrtisch ausgestattet werden, der bei dem grössten Maschinentyp eine maximale Abmessung von 5200×1200 mm aufweist.

Um den grossen Arbeitsbereich auch automatisiert nutzen zu können, soll im Rahmen dieser Bachelorthesis ein Konzept für ein Palettenwechselsystem erarbeitet werden, das den automatischen Wechsel von Paletten mit den Abmessungen eines Starrtischs ermöglicht.

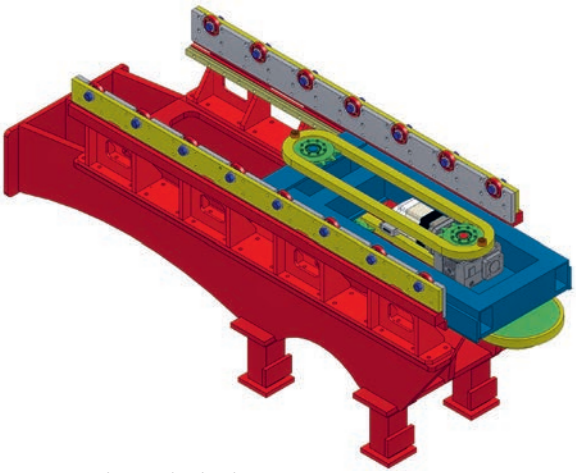


Abb. 1: Konzept der Wechseleinheit

Vorgehen

Nachdem als erstes alle Anforderungen an das Palettenwechselsystem zusammengetragen wurden, wurde mit Hilfe einer morphologischen Analyse Lösungskonzepte für das Spannen, Bewegen und Wechseln der Paletten gesucht. Die Lösungskonzepte wurden anschliessend mit einer Nutzwertanalyse bewertet. Nach Auswahl der Lösungsvarianten wurden die sicherheitsrelevanten Komponenten wie Antrieb, Ketten, Spannelemente und Untergestelle analytisch oder mit Hilfe einer FEM-Analyse ausgelegt. Anschliessend wurde eine grobe Kostenanalyse erstellt. Mit dieser und weiteren Erkenntnissen wurde zum Schluss eine Empfehlung an die Geschäftsleitung abgegeben, ob es sich wirtschaftlich lohnt, das Konzept weiterzuverfolgen und auf den Markt zu bringen.

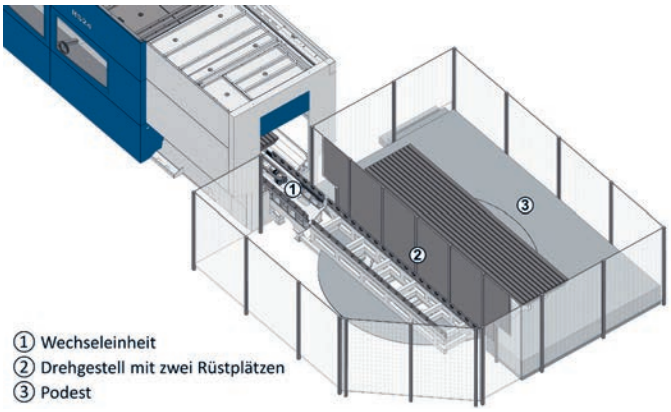


Abb. 2: Gesamtansicht des Konzepts

Ergebnis

In der Arbeit wurde ein Konzept entwickelt, das mit Hilfe einer einzigen linearen Wechseleinheit (Abb. 1) eine Palette inklusive eines 10 Tonnen schweren Werkstücks automatisiert wechseln kann. Der Antrieb erfolgt über zwei Hohlbolzenketten, die von einem Synchronmotor mit Schneckengetriebe angetrieben werden. Die Rüsteinheit besteht aus einem Drehgestell mit zwei Rüstplätzen. Das Drehgestell wird mittels einer verzahnten Drehverbindung um 180° gedreht. Für den ergonomischen Zugang ist ein zusätzliches Podest vorgesehen.

Die Herstellkosten für eine Starrtisch-Palettisierung bei einer RS24 belaufen sich auf ca. 220'000 CHF. Eine Rentabilitätsanalyse (Abb. 3) ergab, dass sich eine Anschaffung für Bauteile mit einem Verhältnis von Rüstzeit zu Bearbeitungszeit im Bereich zwischen 0.15 und 6.61 lohnt. Dies macht die Palettisierung für die Bearbeitung von langen Schweissträgern oder Gussplatten geeignet. Bei Bauteilen mit kleineren Verhältnissen, wie sie im Formenbau vorkommen, kann sich eine Palettisierung aufgrund der längeren Bearbeitungszeit für einen mannlosen Betrieb ausserhalb der regulären Arbeitszeit lohnen.

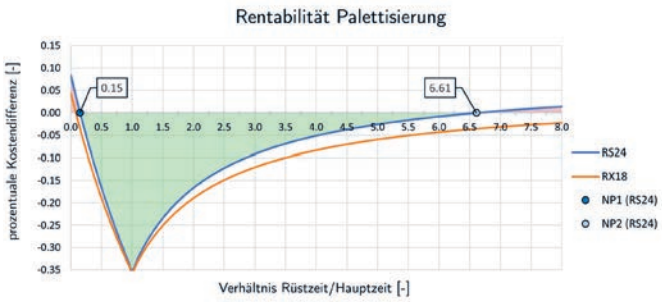


Abb. 3: Diagramm Rentabilität Palettisierung

Diplomand Zimmermann Björn
Dozentin MSc Herzog Priska
Projektpartner Stöckli Swiss Sports AG
Experte Dr. Lieball Kai
Themengebiet Produktentwicklung & Mechatronik

Materialanalyse für Stöckli-Skis - Holzkern

Ausgangslage

Die Firma Stöckli Swiss Sports AG in Malters LU ist ein renommierter Schweizer Ski-Hersteller. In einer Kombination aus modernen Technologien und traditionellem Handwerk werden hochwertige Skis für höchste Ansprüche sowie für Profi-Athleten gefertigt. Aus bis zu 10 verschiedenen Schichten werden die Skis in der Sandwichbauweise zusammengestellt und gepresst. Dabei wird traditionell auf einen Kern aus Holz gesetzt, welcher aus Furnieren verschiedener Holzsorten verklebt und dann in die gewünschte Form gebracht wird. In der Vergangenheit hat sich jedoch gezeigt, dass die Geometrie des Kerns sich in der Zeitspanne zwischen dem Fräsen und der Zusammenstellung des Skis erheblich verändert. Das führt zu Passproblemen bei der Schichtung des Skis in der Pressform (Abb. 1).

Ziel dieser Arbeit ist eine umfassende Analyse des gesamten Produktionsprozesses und die Durchführung einer Ursachenanalyse in Anbetracht des vorliegenden Problems.

Abb. 1: Ski-Zusammenstellung in der Pressform

Vorgehen

Die Arbeit basiert auf dem von Six Sigma empfohlenen Vorgehen für Qualitätsmanagement und unterteilt sich in die Schritte Definieren, Messen, Analysieren und Verbessern. Mithilfe einer ausführlichen Analyse des aktuellen Produktionsprozesses wurden potenzielle Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge ermittelt, welche einen Einfluss auf die Geometrie haben könnten. Danach wurden mittels Messungen, Berechnungen und Simulationen die Informationen erarbeitet, welche zur Beurteilung der Signifikanz dieser Einflussfaktoren nötig sind.

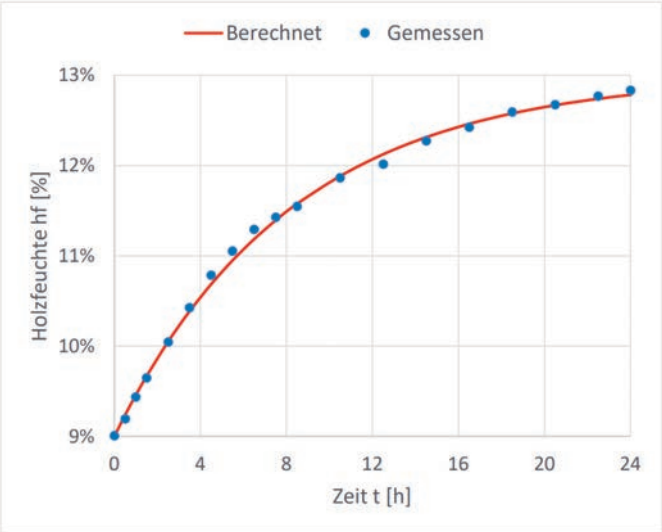


Abb. 2: Feuchteaufnahme des Holzkerns (rot=berechnet, blau=Messpunkte)

Ergebnis

Nach Abschluss der Arbeit konnte die Relevanz diverser Einflussfaktoren bereits eingeordnet oder widerlegt werden. Mithilfe der Forschungsergebnisse ist es nun auch möglich das spezifische Verhalten des Holzkerns zu verstehen und die Reaktion auf verschiedene äussere Einflüsse mittels Näherungsformeln nachzuvollziehen (Abb. 2). Des Weiteren wurde ein mathematisches Modell des gesamten Produktionsprozesses entwickelt, um anhand verschiedener veränderlicher Prozessparameter Vorhersagen zur resultierenden Geometrieveränderung zu treffen (Abb. 3).

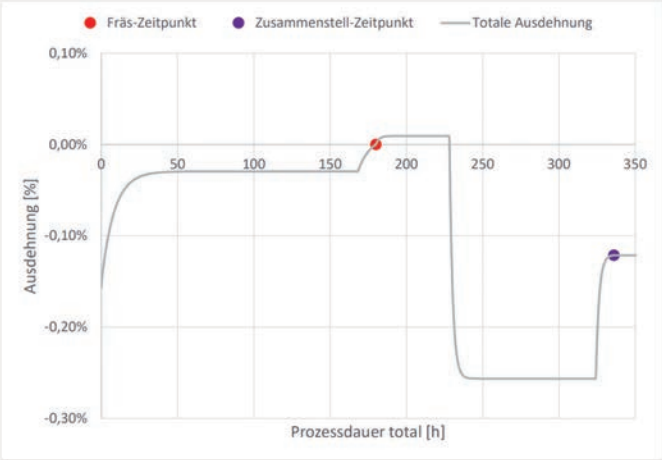


Abb. 3: Zu erwartende Geometrieänderungen über den Prozessverlauf

Diplomand Zum Wald Oswald
Dozent Prof. Dr. Mangani Luca
Projektpartner RUAG AG
Experte Dr. Schlienger Joel
Themengebiet Energien, Fluide und Prozesse

N-20.3 Aerodynamic Characteristics Simulation and Validation

Ausgangslage

Das N-20.3 Projekt wurde 2016 von Stefan Weber, ehemaliger Militär- und Linienpilot, ins Leben gerufen mit dem Ziel, die ‚N-20.2 Arbalète' nachzubauen und zu fliegen. Die Projektingenieure der RUAG führten unter gewissen Vereinfachungen Berechnungen zu den Lasten, welche in einem Extremfall an der Anbindung des vertikalen Stabilisator zum Rumpf wirken, durch (Abb. 1). Um zusätzliche Sicherheit der Ergebnisse zu erhalten, sollen die Resultate mithilfe von CFD Simulationen bestätigt werden. In einem ersten Schritt sollen, um die CFD Simulationen resp. die Setup- und Netz-Einstellung zu validieren, Windtunnelmessungen, welche in den 50er Jahren im Rahmen des N-20.2 Projekts durchgeführt wurden, versucht werden zu reproduzieren.

Abb. 1: CAD Model N-20.3

Vorgehen

Neben dem Einlesen in die für die Arbeit relevanten Themen wurden in einem ersten Schritt die CAD Modelle aufbereitet. Diese wurde mit SpaceClaim für den Vernetzer vorbereitet und anschliessend im Fluent meshing tool vernetzt. Danach konnten die CFD Simulationen durchgeführt werden. Während der Arbeit wurden 10 verschiedene Simulationsreihen simuliert. Die ersten drei, um die passenden Setup- und Netzeinstellungen zu finden. Weitere drei, in denen versucht wurde, die Windtunnelmessungen zu reproduzieren, um die CFD Simulationen zu validieren. Die letzten vier Simulationsreihen entsprechen den Konfigurationen, für welche die Projektingenieure der RUAG Berechnungen durchgeführt haben mit dem Zweck, diese zu validieren.

Ergebnis

Die CFD Simulationen können die Windtunnelmessungen in einem grossen Bereich gut reproduzieren. Allerdings gibt es auch eine gewisse Limitation. Es zeigt sich, dass die Simulationen, bei welchen Strömungsablösung auftritt, die Resultate der Windtunnelmessungen nur schlecht wiedergeben können. Bei

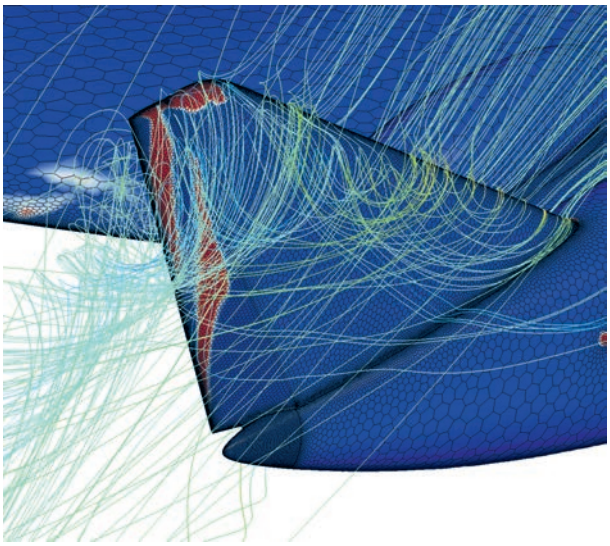


Abb. 2: Strömungsablösung am Ruder

der entscheidenden Konfiguration löst sich die Strömung am Ruder ab (Abb. 2). Somit ist eine gewisse Abweichung des Resultats zu erwarten. Da der Einfluss des Ruders auf die Gesamtlasten allerdings relativ klein ist, stimmt das Resultat in guter Näherung mit den von den Ingenieuren der RUAG berechneten Werte überein. Abb. 3 zeigt den relativen Fehler der CFD Simulationen zu den berechneten. Es obliegt nun dem Kunden, ob weitere CFD Simulationen mit anderen Modellen durchgeführt werden sollen, um bessere Resultate zu erreichen.

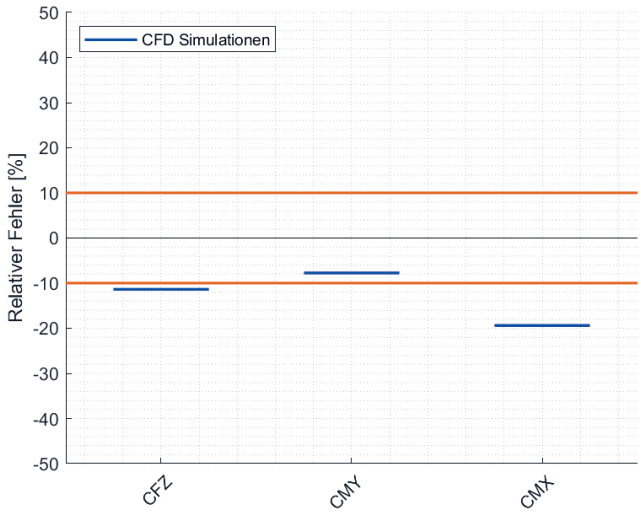


Abb. 3: Relativer Fehler der CFD Simulationen zu den von den Ingenieuren der RUAG berechneten Werten

Bachelor-Theses Digital Engineering

Diplomand An Dmitriy
Dozent Prof. Dr. Paice Andrew
Projektpartner (anonym)
Experte Dr. Jäggi Reto
Themengebiet Digitale Entwicklung

Aufbereitung und Analyse historischer Daten des Herstellprozesses von Elektrokeramik-Bauteilen

Ausgangslage

Mithilfe von Machine Learning lassen sich grosse Datenmengen analysieren und Regeln erkennen, die vorher nicht bekannt waren. Somit können Prozesse optimiert und bessere Produkte hergestellt werden. Aus diesem Grund wollte eine Firma, die Elektrokeramik-Bauteile für den Überspannungsschutz herstellt, die Qualitätskontrolle mittels Machine Learning verbessern. Die Durchbruchspannung soll anhand der Daten der Rohmaterialien und vom Produktionsprozess vorhergesehen werden.

Vorgehen

Diese Bachelorarbeit kann in die Phasen Datenaufbereitung und Datenanalyse aufgeteilt werden. Zuerst mussten alle Daten innerhalb der Firma aus mehreren Quellen exportiert und anschliessend kombiniert werden. Hier sind die zeitaufwendigsten Probleme entstanden, weil am Anfang nicht klar war, welche Datenquellen zur Verfügung standen und wie die Schnittstellen zwischen diesen definiert wurden. In Python wurde das Bereinigen, Kombinieren und Transformieren der Daten durchgeführt, damit am Ende der Phase ein Datensatz zur Verfügung stand.

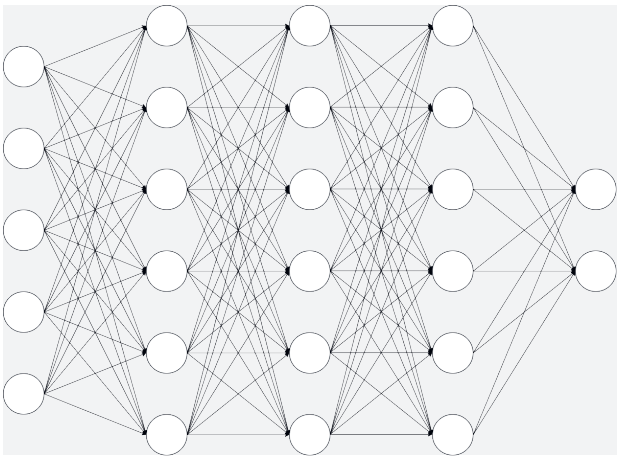


Abb. 1: Aufbau von einem Deep Neural Network bzw. Deep Learning Modell

In der zweiten Phase wurde die Datenanalyse durchgeführt und mittels Deep Learning (Abb. 1) konnten die ersten Vorhersagen gemacht werden. Aufgrund der grossen Anzahl Hyperparameter wurden in PyTorch ca. 1500 verschiedene Kombinationen von Hyperparameter ausprobiert, um das bestmögliche Modell zu finden (Abb. 2). Weitere Algorithmen wie Random Forest und Gradient Boosting, die auf Decision Trees basieren, wurden auch verwendet.

hidden_neurons	l2_reg	dropout_prob	early_stopping	last_epoch	last_epoch_loss	test_loss	rad_mean
[16, 16, 64, 64]	0.0100	0.1	5	26	0.424188	0.002482	0.028
[64, 32, 64, 32]	0.0010	0.1	5	35	0.419960	0.007882	0.030
[64, 16, 64, 64]	0.0010	0.1	5	24	0.337920	0.007853	0.033
[32, 64, 32, 64]	0.0001	0.1	5	26	0.394502	0.008597	0.034
[32, 64, 16, 64]	0.0001	0.1	5	60	0.187147	0.007626	0.034
[64, 16, 64, 32]	0.0100	0.1	5	36	0.548790	0.004128	0.035
[16, 64]	0.0100	0.1	5	50	0.441303	0.014354	0.035
[32, 16, 32, 64]	0.0010	0.1	5	26	0.373378	0.004238	0.035
[32, 64, 32]	0.0100	0.3	5	46	0.933941	0.006573	0.036
[16, 16, 32]	0.0001	0.1	5	66	0.273603	0.011351	0.036

Abb. 2: 10 beste Kombinationen von Hyperparameter mit Resultaten von einem Deep Learning Modell beim ersten Durchlauf

Ergebnis

Anhand den vielen Datenquellen konnten die benötigten Daten extrahiert und in einen Datensatz kombiniert werden. Die Vorhersagen der Durchbruchsspannungen von den Metalloxid-Varistoren hatten folgende Genauigkeiten:

- Deep Learning 1.9 %
- Random Forest 1.08 %
- Gradient Boosting 1.05 %

Obwohl der Parameterraum vom Random Forest und Gradient Boostion nicht erforscht wurde, hat Deep Learning wahrscheinlich das grösste Potenzial für Verbesserungen. Die Resultate von fast 1 % zeigen, dass Machine Learning grosses Potenzial in der Produktion von Elektrokeramik-Bauteilen hat.

Diplomand	Huser Samuel
Dozentin	Dipl. Ing. ETH Blaas Annina
Projektpartner	SBB
Experte	Dipl. Ing. ETH Spaeti Philipp
Themengebiet	Digital Transformation, Robotik

Roboterdaten auf dem S-bot visualisieren und Befehlsausführung mit WebUI

Ausgangslage

Die Bekämpfung von Bewuchs auf Gleisanlagen in der Schweiz erfolgt häufig mithilfe des umstrittenen Herbizids Glyphosat. Das Forschungsprojekt «Roboterbasierte Vegetationskontrolle» entwickelt als Alternative zum Herbizideinsatz einen autonomen Industrieroboter mit dem Namen S-bot.

Ziel dieser Arbeit ist das Konzept sowie die Entwicklung eines Webbasierten Benutzerinterfaces (WebUI) für die Fernüberwachung und -steuerung des S-bots.

Abb. 1: Prototyp S-bot während eines Feldtests

Vorgehen

Die Arbeit gliederte sich in drei Hauptbereiche: Anforderungsmanagement, Entwicklung des WebUI-Grundgerüsts sowie Konzept und Einrichtung einer unidirektionalen Verbindung zu einem Cloud-Dienst. Dabei wurden umfangreiche Recherchen durchgeführt und die Erkenntnisse praktisch umgesetzt.

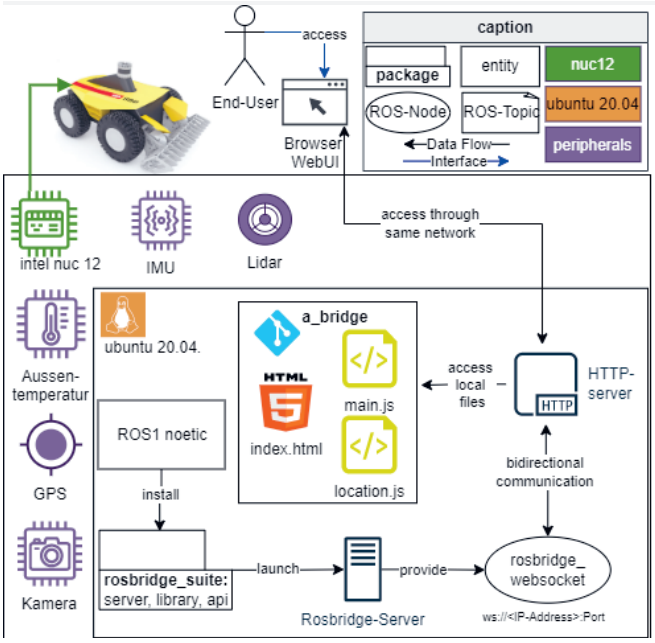


Abb. 2: Konzept für die Softwarearchitektur WebUI

Ergebnis

Ein wesentlicher Entwicklungsschritt bestand in der Implementierung einer bidirektionalen Verbindung zwischen dem Robotik Framework ROS, bzw. dem Websocket und dem HTTP-Server, um den Austausch von Informationen in Echtzeit zu ermöglichen. Dadurch können Daten in Textform auf ein bestimmtes ROS-topic geschrieben werden, um den S-bot zu steuern. Die Verwendung von Sensoren und ROS ermöglicht die Darstellung der GPS-Position des S-bots auf dem WebUI.

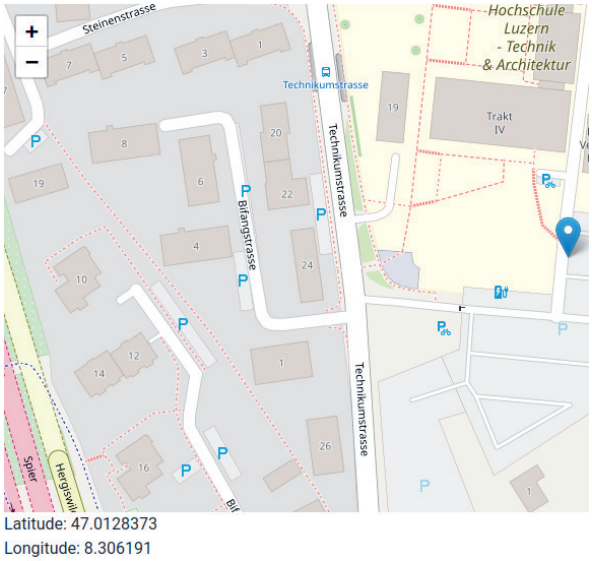


Abb. 3: Entwickeltes Feature Geolocation mit MapTiles und OpenStreetMap auf dem WebUI

Eine cloudbasierte Lösung zur Speicherung und Logging der Daten des S-bots wurde integriert, wobei der Azure IoT Hub als zentrales Element diente, um eine sichere und skalierbare Kommunikation zwischen dem S-bot und der Cloud zu ermöglichen. Die Telemetriedaten wurden an den IoT Hub gesendet und über Message Routing sicher im Blob Storage gespeichert.

Die Aufteilung des Systems in separate Bereiche für Überwachung (WebUI), Analyse (Cloud) und lokale Steuerung trug zur Schaffung einer skalierbaren und flexiblen Lösung bei, die an verschiedene Anwendungsfälle angepasst werden kann.

Durch iterative Prozesse wurden funktionale Anforderungen ermittelt und bewertet, um eine priorisierte Anforderungsliste zu erstellen, die in Form von User Stories und Epics konsolidiert wurde. Dies dient dem Ziel, ein gemeinsames Verständnis und eine gemeinsame Sprache zwischen Kunden/Benutzern und Entwicklern zu gewährleisten.

Diplomandin Sprecher Rachel
Dozent Prof. Dr. Paice Andrew
Projektpartner Belimo Automation AG
Experte Dr. Jäggi Reto
Themengebiet XIL für Verifikation

XIL-Konzeptentwicklung für Gebäudetechnik Produkte

Ausgangslage

Neue modellbasierte Methoden und Prozesse sind erforderlich, um technische Produkte zu entwickeln und zu testen. Obwohl die Produktkomplexität und Variantenvielfalt zunehmen, wird erwartet, dass eine gleichbleibende Testtiefe und eine möglichst hohe Testabdeckung bei einer gleichzeitigen Reduzierung der Entwicklungszeiten erreicht werden. Integrierte Entwicklungs- und Testumgebungen und X-in-the-Loop-Techniken (XIL) helfen, dieses Ziel zu erreichen. Die unterschiedlichen Techniken wie Model-, Software-, Processor- und Hardware-in-the-Loop (HIL) werden in den Produktentstehungsprozess eingebunden.

Belimo Automation AG setzt die modellbasierten Methoden für die Produktentwicklung ein. Um die Testumgebung zu verbessern, sollen zukünftig vermehrt XIL-Techniken eingesetzt werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Analyse und Konzeptentwicklung mit Proof of Concept für die XIL-Produktverifikation des Energy Valves. Das Energy Valve (Abb. 1) ist ein Ventil, welches Messung und Regelung von thermischer Energie in einem Gerät ermöglicht.

Abb. 1: Energy Valve

Vorgehen

Die Möglichkeiten der unterschiedlichen XIL-Methoden und der Produktverifikationsprozess des Energy Valves werden analysiert. Daraus entsteht die Produktarchitektur, welche in Abb. 2 ersichtlich ist. Danach erfolgt die Erstellung verschiedener Konzepte mit detaillierter Analyse der Realisierbarkeit, wie und ob die Schnittstellen stimulierbar sind. Zusätzlich werden die Simulationskonzepte anhand qualitativer Kriterien wie Machbarkeit der Simulation, Reproduzierbarkeit und ob dieses Konzept Test Cases abdeckt usw. verglichen. Abgeschlossen wird die Arbeit mit einer Validierung für das ausgewählte Konzept.

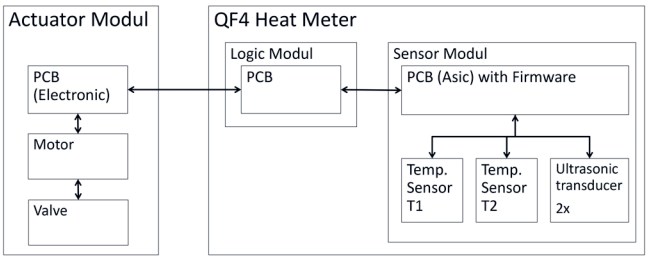


Abb. 2: Produktarchitektur

Ergebnis

Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein Hardware-in-the-Loop Produktverifikationskonzept für das Energy Valve. Die vertiefte Analyse der Schnittstellen zeigt auf, welche für eine Stimulation optimal und realisierbar sind und welche nicht. Diese Informationen wurden danach für den qualitativen Vergleich der Konzepte in eine Nutzwertanalyse eingearbeitet, um das geeignetste Konzept zu finden. Die Machbarkeit der Stimulation der Schnittstellen zwischen den realen und den simulierten Komponenten wurde anhand einer Validierung nachgewiesen. Abb. 3 zeigt die grafische Darstellung des HIL-Konzeptes. Vorteile von HIL ist, dass die Produkte in simulierten Umgebungen getestet werden können, was eine Erhöhung der Testvielfalt bedeutet und Fehler werden früher in der Entwicklung gefunden. Ein weiterer bedeutender Vorteil besteht darin, dass die Tests automatisch durchgeführt werden können und dadurch die Möglichkeit zur Wiederholung verbessert wird.

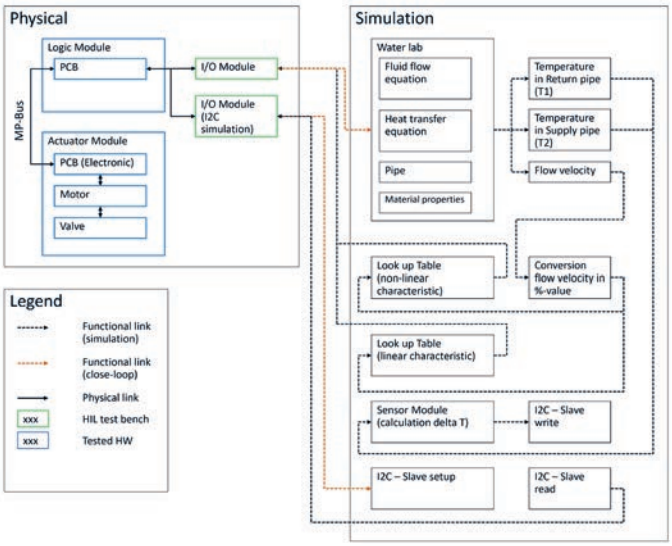


Abb. 3: HIL-Konzept

Master-Theses Engineering

Diplomand Amsler Moritz Sebastian
Dozent Prof. Dr. Wagner Claas
Projektpartner Institut IIT, CC Business Engineering
Experte Dr. Gizzi William
Themengebiet Energy & Environment

A critical assessment of lifecycle emission estimation methods, including the impact of circularity approaches: A case study analysis of beverage cup materials

Introduction

There are no comprehensive frameworks available to assess beverage container materials, which makes it difficult to provide products and services. To address this issue, frameworks are being introduced and assessed to enable a more unbiased and universal comparison. The research question is how practical are current approaches to evaluating emissions and how can circularity approaches be integrated?

Fig. 1: Plastic cup waste within water

Procedure

The applied methodology is structured within different stages.

- Determining the current state of the art for the most relevant frameworks via a literature review
- Selecting and applying the most common approaches to a case study to provide a practical example
- Identifying issues and opportunities within the frame works
- Formulating recommendations and best practices for selected industries and the general framework

To highlight the application of Life cycle Assessments (LCA) and circular metrics, an example is provided within a case study, developing and showcasing the current state of the art and focusing on the benefits and issues regarding the everyday use of LCAs and circular metrics.

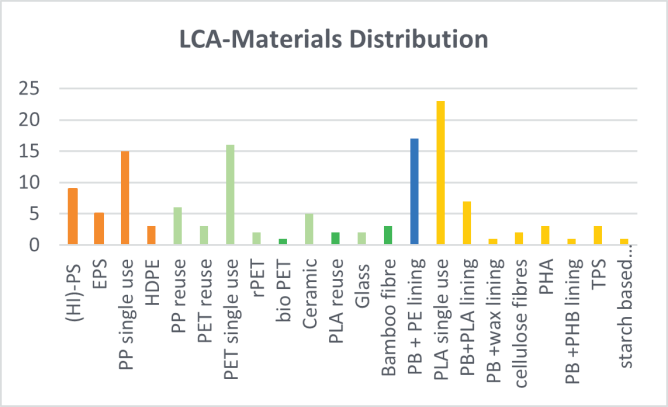


Fig. 2: Distribution of materials within all considered LCA studies

Result

While significant progress has been made in evaluating emissions and integrating circularity approaches, there are still challenges to overcome. Variability in LCA results, as shown in Figure 2, necessitates developing and implementing industry-specific best practices to reduce inconsistencies. Streamlining circularity approaches through standardised metrics, and frameworks is essential for reliable assessments.

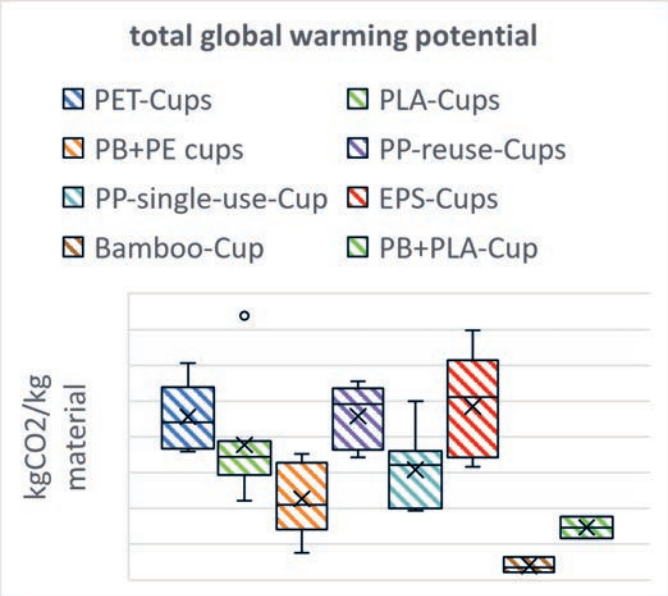


Fig. 3: Greenhouse gas mission results ranges for different cup materials due to multiple influence factors such as different system boundaries and assumptions within the LCA process

Diplomandin Hochuli Adina
Dozent Prof. Dr. Worlitschek Jörg
Projektpartner Institut IME, CC Thermische Energiespeicher
Experte Dr. Guidati Gianfranco
Themengebiet Energy & Environment

Shape effects of various geometries on packed bed structures

Introduction

Thermal energy storage (TES) technologies are of great importance to compensate the fluctuating nature of solar energy. The principle of latent heat energy storage (LHES) is particularly promising for applications that require high energy density.

In a macro-encapsulated LHES system, capsules filled with phase change material are arranged as a packed bed heat exchanger structure to enhance the heat storage capacity. The interaction between the flowing heat transfer fluid and the packed bed structure has a major influence on the performance of the TES and, thus, the geometry of the capsules plays an important role.

The characteristics of a packed bed, e.g. the packing density, depend on the geometry of the individual particles. This master thesis aimed to identify correlations between a single particle's geometry characteristics and the characteristics of the resulting packed bed.

Procedure

To identify such correlations, experimental data of packed beds has been generated using computed tomography and simulated data by applying a numerical rigid body dynamics routine. The data was then compared and evaluated to create a solid data set for a regression analysis, based on the dimensionless numbers aspect ratio, sphericity, flatness and relative diameter as predictors and packing density and surface ratio as response variables.

Result

The characteristics of the geometry lead to differently structured arrangements in the packed beds. For example, particles with flat faces tend to arrange in packs of similarly oriented particles. Also, the dimensions of the container influence the packing density, due to its wall effects.

The validation of the simulation routine showed that the results of the packing density meet the expected accuracy, whereas the resulting surface ratios are not satisfying.

The regression analysis based on linear and polynomial relations between predictors and response yielded, that the predictor flatness can be omitted due to multicollinearity with sphericity. Further on, additional options should be investigated to depict the non-linear relation between the predictors and the response.

Fig. 2: Examples of investigated packed beds with different particle geometries; Cylinders with aspect ratio 1 (left), ellipsoids with aspect ratio 2.5 (middle) and cuboids with aspect ratio 2.5 (right)

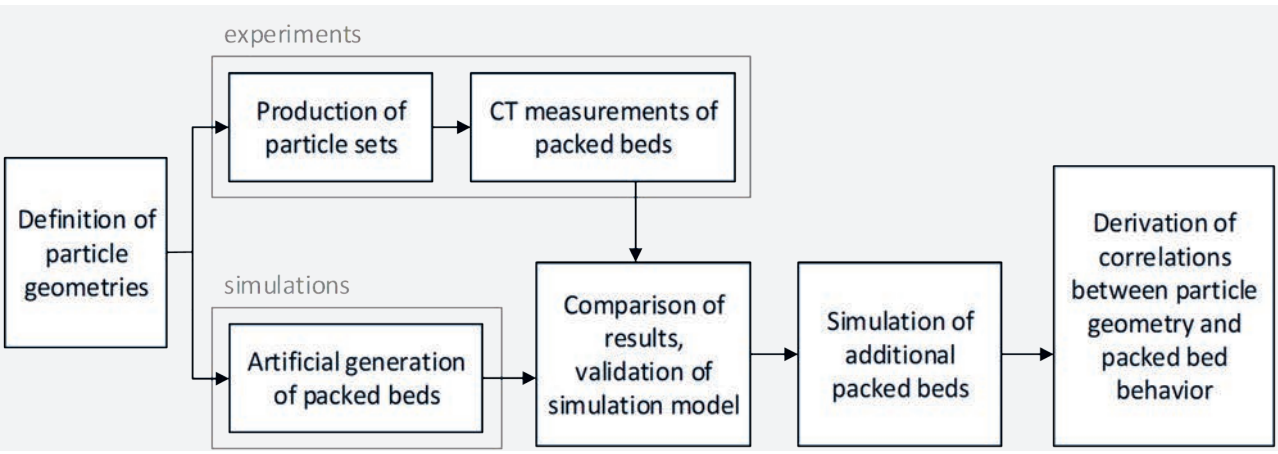


Fig. 1: Overview of the workflow of the master thesis

Diplomand Huber Marius
Dozent Prof. Dr. Koller Adrian
Projektpartner Soldati AG
Experte Prof. Dr. Bermes Christian
Themengebiet Mechatronics and Automation

Image Recognition and Assembly of Small Parts

Introduction

This project was conducted in collaboration with Soldati AG, which is specialized in delivering automation solutions. Besides producing special machines for automation, the also have a small production line for air motors. They are operated pneumatically and characteristicly have a high efficiency, which makes them optimal for use in special applications such as explosion sensitive areas. Currently, the assembly process of these air motors is done by manual assembling the parts into an assembly station. In this work, the assembly into the station is to be automized using a robot. The air motors consist of four parts that need to be handled by the robot: a piston, roll, pin, and seal (Fig. 1).

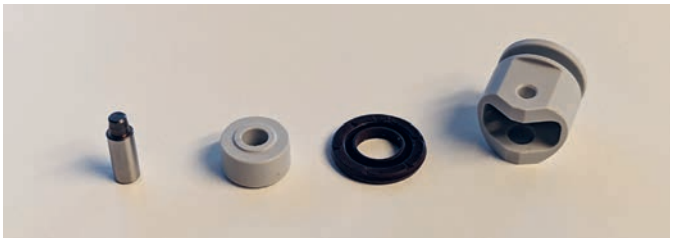


Fig. 1: Display of the air motor parts that have to be assembled. From left to right: pin, roll, seal, and piston

Procedure

The concept for the automation was divided into the sub-steps needed for the full automation of the process. The sub-steps were evaluated using technology readiness levels. The separation, detection and picking of the parts were determined to be the most critical steps and hence the ones to be developed in this work. A setup to test these steps was created and consists of a monocular camera for top illumination, a conveyor belt to transport the parts, and a Stäubli robot with a custom gripper to pick and place the parts (Fig. 2). The first step is to separate the parts when they arrive as bulk orders. This was done by using a vibration feeding bunker and a conveyor belt. To ensure optimal contrast for parts detection, a blue conveyor belt was chosen. The next step is to detect the parts so that the robot can grip them. For optimal detection, illumination from the top was chosen as this allows for detection of features on the parts. This is needed as some of them (seals and piston) are to be picked from the correct side. To detect the parts, shape models were developed. Figure 3 shows how the shape model can easily identify the pistons and also determine which side is on top (small or large hole). The last step is the picking of the parts. Here a vacuum gripper was used for the piston and the pin and a parallel gripper was used for the seal and roll.

Fig. 2: The test setup with the monocular camera and top illumination (top of the image), the parts on the blue conveyor belt and Stäubli robot

Result

The test setup was used to develop and test the detection algorithms and procedures. The algorithms for all four parts were tested and verified successfully. During detection, the location, orientation and arrangement of the parts was determined. This information was transferred to the robot using a transformation with respect to the camera calibration coordinates. The robot was able to pick the parts precisely. In conclusion, the concept for the automation was successfully developed and the most critical parts were demonstrated in detail.

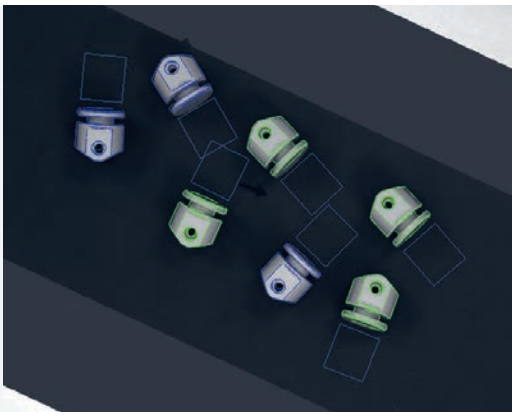


Fig. 3: Display of the detected pistons. The blue parts have the small hole on top and the green parts have the big hole on top. As the robot picks up the parts on the flat side of the piston

Diplomand	Lichtsteiner Marvin
Dozent	Prof. Dr. Jensen Björn
Projektpartner	Mequadrat AG
Experte	Thomas Estier
Themengebiet	Mechatronics and Automation

Stereo Vision-Based Object Detection for Mechanical Parts using Synthetic Data Generation and Convolutional Neural Networks

Introduction

As part of this master research project, a collaborative effort between the Lucerne University of Applied Sciences and Mequadrat AG is in progress to develop an advanced system for object recognition, localization and subsequent robot-assisted removal of mechanical parts (Fig.1). This solution has the purpose to automate the process of picking objects from bins or containers, using advanced robotics and computer vision techniques. The primary objective of this thesis is to lay the foundation to design and implement a robust and efficient system that can accurately identify mechanical parts within a logistic box, determine their precise location and orientation and facilitate their picking from the box through the use of robotic assistance. This process, called bin picking, incorporates robotics for motion planning and picking, 3D vision technology for depth sensing and deep learning for localization of the objects.

Fig. 1: Experimental setup with Universal Robot UR3e, Intel Realsense D415 stereo vision camera and on the right, the investigated mechanical parts.

Procedure

This master thesis incorporates a comprehensive control and parameterization of the Intel Realsense D415 camera within a LabVIEW environment. This stereovision camera is capable of generating 3D point clouds of scenes. To process and filter point clouds, the LabVIEW software was expanded using a Python-based machine learning environment, facilitating the implemented 3D reconstruction process. The reconstructed point clouds are then transformed into realistic synthetic data using Blender, as depicted in Figure 2, which served as the training dataset for a CNN-based deep learning algorithm. The newly released YOLOv8 algorithm was integrated, enabling real-time object detection and localization. This project covers the entire workflow, encompassing camera control, 3D reconstruction and object detection, providing a seamless and unified approach for bin picking solutions.

The main contribution of this thesis to the current state of the art are a new integration of the Realsense D415 within a LabVIEW framework, 3D reconstruction process using Open3d, creation of synthetic 2D depth and color images, 3D point clouds and associated 2D and 3D labels and a object detection using the YoloV8 deep learning algorithm.

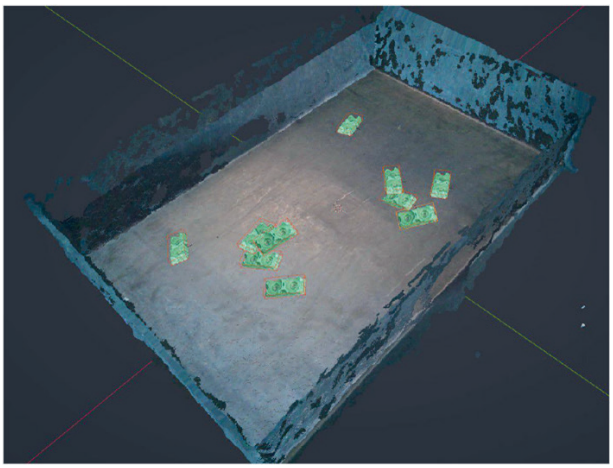


Fig. 2: 3D reconstructed objects with their corresponding 3D bounding box within a virtual scene using Blender for synthetic data generation

Result

By optimizing the Intel Realsense camera, it was possible to generate accurate 3D point clouds. These were processed to create a representative model in the 3D reconstruction process. The resulting point cloud was incorporated into a realistic environment in Blender, allowing it to generate synthetic 3D point clouds, rendered 2D color and depth images and their corresponding labels by using virtual cameras. Using this method, it becomes possible to extract all relevant information within a matter of seconds. These synthetic datasets were then utilized to train the YOLOv8 algorithm, a CNN-based object detection algorithm. Through extensive investigations, the optimal parameters for the deep learning model were identified. Finally, the model›s performance was evaluated with unseen real-world images, demonstrating exceptional results with high accuracy (> 85 %) in the localization and evaluation of the orientation of the objects.

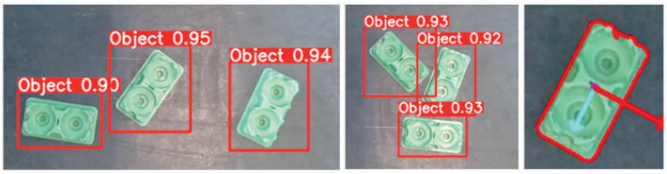


Fig. 3: Evaluation of model performance and verification on real data with bounding box and orientation

Diplomand Moretti Raphael
Dozent Prof. Dr. Székely Gerhard Stefan
Projektpartner SeasonCell
Experte Dr. Guidati Gianfranco
Themengebiet Mechanical Engineering

Optimization of the heat storage cells of a thermal energy storage system using multiphysics simulations, dynamic models and experimental tests

Introduction

SeasonCell is developing a seasonal thermal energy storage system for the building sector. Heat is stored in cells with phase change material (PCM). The phenomenon has been used in hand warmers for over 100 years. In summer, the cells are charged by excess CO_2-neutral energy from photovoltaics in combination with a heat pump, and in winter the required heat is extracted by activating the respective cells. Since the storage system consists of several hundreds of such cells, the design of these cells is an important part of the overall concept. The design of the cell significantly determines the charging and discharging performance of the storage unit.

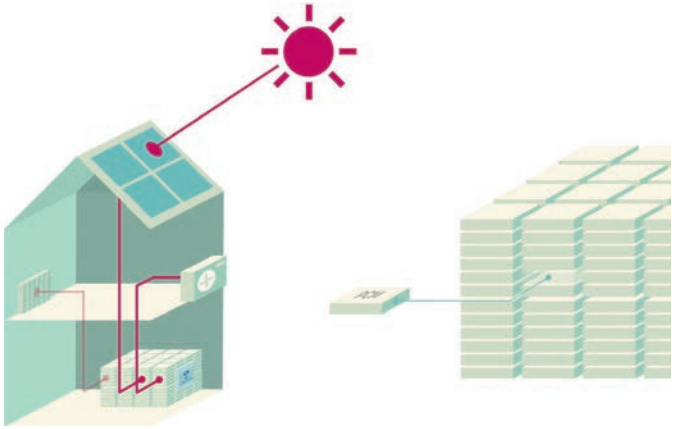


Fig. 1: SeasonCell system (left) and cell illustration (right)

Procedure

In order to optimize such a cell, the behavior and properties of the individual components must first be known. Since the simulation of phase change materials has still not been completely researched, a more in-depth search was first carried out and the optimal software was selected. With the multiphysics programme COMSOL, the different phenomena of the PCM could then be worked out and a simulation tool was developed in it, which allowed the measured parameters of the PCM samples to be easily entered and the melting behavior and a novel variant of the crystallization behavior were successfully implemented. Thus, different cell designs could be investigated, and the simulation could be verified experimentally with the testing of a real cell.

Result

In this thesis, a customizable simulation tool was successfully developed, which allows to directly enter the parameters from the analytical laboratory measurements and thus to quickly store and use new materials in the multiphysics simulation. The crystallization behavior was verified with different papers and the melting behavior was experimentally verified with temperature sensors in a real cell. In the graph below, it can be seen that the temperature curves in the simulation correspond very well with the measurements in terms of timing, and thus the melting front is well reproduced.

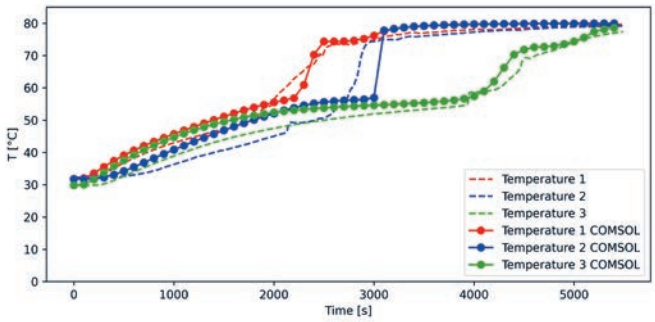


Fig. 2: Experimental verification of a cell melting process

In addition, optimizations were made to the cell geometry and time savings in the charging process of as much as 40 % were achieved. As a result, losses during the charging process are much lower due to the shorter charging time.

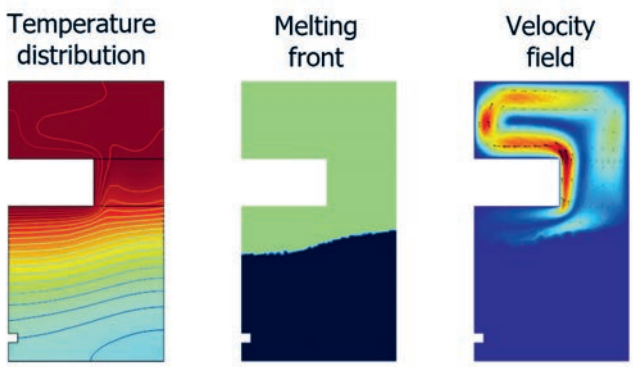


Fig. 3: Example of a cell melting

Diplomand	Zeinali Nader
Dozent	Prof. Dr. Mangani Luca
Projektpartner	EuroTube Foundation
Experte	Dr. Gentner Christof, Dr. Deb Rajdeep
Themengebiet	Mechanical Engineering

Numerical investigation of drag and vehicle instability induced by interaction between reflection shock wave and vehicle moving inside low-pressure tube

Introduction

The Hyperloop system is a potential game changer in the transportation industry, as it utilizes low pressure tubes to reduce drag force and energy requirements, allowing for faster and more sustainable travel. However, the flow around pod in evacuated tube is different from the one in open system. Generation of normal shock wave and high-pressure build up in front of pod will increase the drag force. Also, the shock wave, moving at a high speed, will reach to the tube end wall and bounces back moving towards the pod with higher strength and pressure which will increase the drag force even more, once it hits the pod.

In this project, we investigated the unsteady features of high-speed pod's aerodynamic and quantified the drag force induced by incident shock wave and reflection shock wave.

Fig. 1: EuroTube hyperloop train (source : https://eurotube.org)

Procedure

First, the project requirements and simulation specifications were determined by cooperation with the industrial partner, along with the literature review on compressible flow and shock wave fundamentals. With the information gathered from this review, a set of 2D-simulations, using inviscid and viscous models, were conducted to accurately capture the incident shock wave properties and aerodynamic drag force. The influence of blockage ratio on drag force, experienced by pod due to incident and reflection wave, has been studied in inviscid model. A methodology was developed to capture the properties of the reflection shock wave based on the properties of the incident shock wave to ensure consistency in simulation. The drag force analysis was conducted at two stages: when the shock wave was forming and when it hit the pod.

Result

The results of the analysis have indicated that the blockage ratio has a considerable influence on the drag force, as an increase in the blockage ratio correlates with an increase in the drag force. Additionally, due to air compression in front of the pod, the pressure increases, while at the back of the pod, the pressure decreases due to the generation of an oblique shock wave and flow separation. The drag analysis of viscous model has indicated that the total drag mainly dependent upon pressure drag, rather than shear drag.

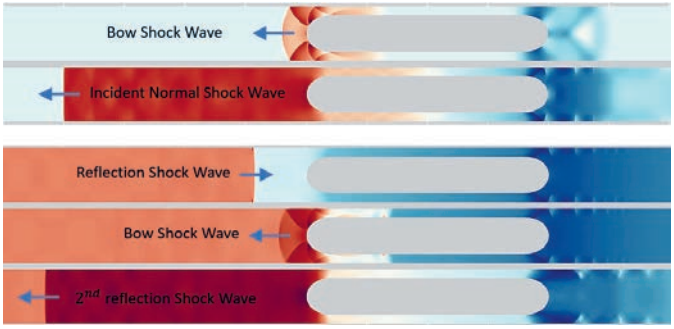


Fig. 2: Illustration of incident normal shock wave generation which then reflected from the tube end wall and hits the pod at some instant and creates the 2nd reflection shock wave

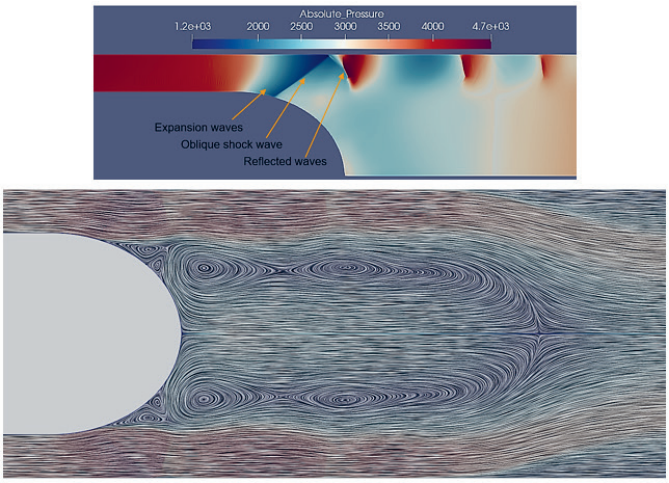


Fig. 3: Two distinct features at the tail of pod: First, the Prandtl Meyer expansion waves, which generate the supersonic oblique shock wave. Second, separation of flow boundary layer, which results in low pressure recirculation region.

Diplomand Zgraggen Tim
Dozent Prof. Dr. Worlitschek Jörg
Projektpartner SeasonCell
Experte Dr. Guidati Gianfranco
Themengebiet Energy & Environment

Experimental investigation of effects on supercooling and segregation of the PCM used in the SeasonCell concept

Introduction

SeasonCell is developing a seasonal thermal energy storage for the building sector. Surplus heat is stored in multiple cells with phase change materials and is brought in supercooled state into the winter. There it is activated by triggered nucleation where the heat from the phase change is released again. This phenomenon is known for more than 100 years in the form of reusable handwarmers. The design relies on aqueous salt mixtures with stable supercooling properties. The use of a suitable material in terms of thermal, physical and chemical properties is key for a successful storage system. For this the goal is to observe three potential phase change materials (PCM's) on the thermal and physical behavior and influences on the supercooling and the segregation.

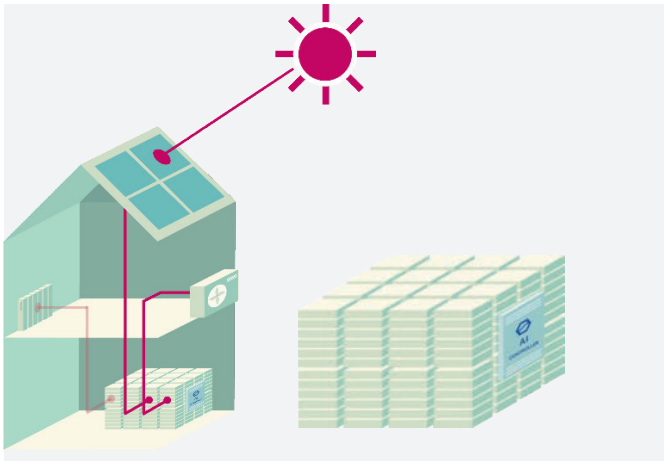


Fig. 1: SeasonCell storage system with cell like structure

Procedure

In order to fully understand the phenomenon of phase change materials and their behavior, the fundamentals of crystallization are first studied. The thermal properties of the three potential PCM's are measured to form a database. Experiments regarding the influence on supercooling and segregation are done specifically for the three PCM's. In the end the three PCM's will be rated according to their usability in the SeasonCell storage concept.

Result

In this thesis, the fundamentals of the nucleation theory and the crystal growth are extensively studied to fully understand the behavior of the crystallization and to understand the influences on the supercooling in a theoretical manner. The thermal properties of the three PCM's are conducted in the analytic laboratory. All the experiments and determination of the thermal properties are made with different water contents of the materials to observe an influence there. However, the goal is always to achieve a specific hydrate formation of the crystals.

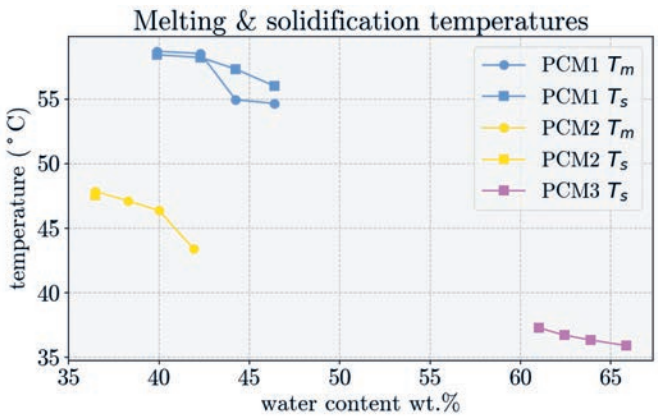


Fig. 2: Melting and solidification temperatures of the three PCM's

Different experiments regarding the influences on supercooling and segregation are made. Influences on supercooling are for example the cooling rate, thermal history, volume size and surface roughness. The segregation of the PCM's can potentially be reduced by the addition of extra water, thickener agents or with the use of eutectic mixtures. The experiments showed great possibility of PCM1 and PCM2 with supercooling degrees up to 80K and stable supercooling for +10h at temperatures far lower than room temperature.

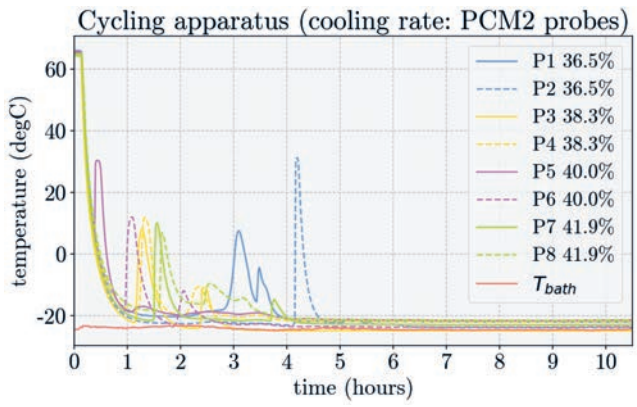


Fig. 3: High cooling rate where all PCM2 probes nucleated

Diplomand Zimmermann Reto
Dozent Prof. Dr. Haack Carsten
Projektpartner Thermoplan AG
Experte Dr. Mastrogiacomo Giovanni
Themengebiet Mechanical Engineering

Thermomechanische Optimierung eines Moduls einer Kaffeemaschine

Ausgangslage

Die Firma Thermoplan AG entwickelt und produziert Kaffeevollautomaten für den Gebrauch in der Gastronomie und im Gewerbe. Das international tätige Familienunternehmen beschäftigt am Hauptsitz in Weggis rund 500 Mitarbeitende, welche für die gesamte Entwicklung und Produktion zuständig sind.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die im Modell BW4neo (Abb.1) eingesetzte Brüheinheit zu analysieren und mögliches Optimierungspotenzial mit Hilfe von thermischen Berechnungen aufzuzeigen. Dazu sollen Finite Elemente Analysen (FEA) und Parameterstudien erstellt werden. Zudem soll untersucht werden, mit welchen Massnahmen die bekannten Limitationen des bestehenden Moduls eliminiert werden können.

Abb. 1: Die Kaffeemaschine BW4neo von Thermoplan ist für den Einsatz im Office Bereich konzipiert

Vorgehen

Die Arbeit unterteilt sich in mehrere Phasen. In der ersten Phase wird die Baugruppe analysiert und die thermischen und mechanischen Randbedingungen werden zusammen mit den dazugehörigen Materialdaten zusammengestellt.

Anschliessend wird untersucht, wie stark sich das für den Kaffeebrühprozess benötigte Wasser auf seinem Weg bis zur Brühkammer abkühlt und welche Parameter diese Abkühlung beeinflussen. Mit Hilfe eines Berechnungsprogramms wird der Temperaturverlust auf dem Weg zur Brühkammer berechnet. Dazu werden auf Basis des VDI-Wärmeatlas die Wärmeübergänge analytisch berechnet. Entsprechende Temperaturkurven sind in Abb. 2 zu sehen.

Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen werden Möglichkeiten untersucht, um den Brühprozess zu optimieren. Dazu wird an einer geometrisch vereinfachten Brüheinheit eine FEA mit der Software Ansys Workbench durchgeführt. In dieser werden unterschiedliche Möglichkeiten untersucht, die Brüheinheit zu beheizen (Abb. 3). Dies ist notwendig, um den Brühprozess konstant zu halten und ein zu starkes Abkühlen des Kaffees zu verhindern.

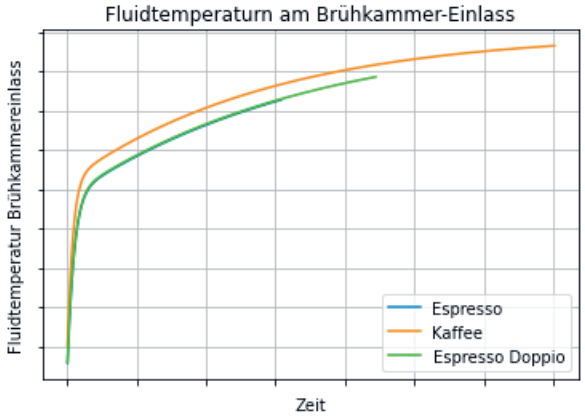


Abb. 2: Temperaturverlauf am Einlass zur Brühkammer während des Brühzeitraums von unterschiedlichen Kaffeeprodukten

Ergebnis

Anhand der in dieser Arbeit gewonnenen Daten kann die Thermoplan AG die bestehende Brüheinheit überarbeiten, um die Kaffeequalität weiter zu verbessern. Zudem werden bisher nicht genutzte Vorgehen aufgezeigt, um thermische Berechnungen in die Entwicklung neuer Konzepte einzubinden.

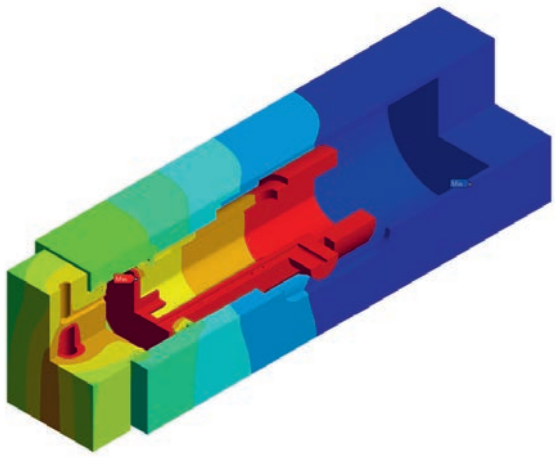


Abb. 3: Temperaturverteilung in der vereinfachten Geometrie der Brüheinheit bei der Verwendung eines möglichen Beheizungskonzepts

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Technikumstrasse 21
6048 Horw

T +41 41 349 33 11
technik-architektur@hslu.ch
hslu.ch/technik-architektur

07-2023