

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19137 N

Thema

Einsatznahe Charakterisierung des Laufverhaltens angetriebener und konventioneller Tragrollen für (Schüttgut-)Förderanlagen

Berichtszeitraum

01.10.2016 – 31.12.2020

Forschungsvereinigung

Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. - GVB

Forschungseinrichtung(en)

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Hannover, 25.06.2021

Ake Kriwall

Ort, Datum

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

1. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	3
2. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse	4
Teilziel 1: Aufbau eines Wirkmodells zur Abbildung relevanter Einflussgrößen auf die Prüfstandsmessung	4
Teilziel 2: Konzeption und Umsetzung einer dualen Messeinrichtung	5
Teilziel 3: Validierung des Prüfstands	5
Teilziel 4: Ableitung von Empfehlungen zur Anpassung der Norm DIN 22112	5
3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse	6
AP 1: Identifikation von Einflussgrößen auf das Laufverhalten von Tragrollen	6
AP 2: Konzeption	6
AP 2.1: Konzeption Messverfahren Leistungsbedarf	6
AP 2.2: Konzeption Messverfahren Laufwiderstand	7
AP 2.3: Konzeption duale Messeinrichtung	7
AP 2.4: Konzeption Prüfstand	8
AP 3: Umsetzung	11
AP 3.1: Aufbau Messeinrichtung und Prüfstand	11
AP 3.2: Aufbau Steuerung und Auswertung	15
AP 3.3: Funktionstest und Kalibrierung	16
AP 4: Validierung	17
AP 4.1: Experimentelle Versuche	17
AP 4.2: Empfehlungen für die DIN 22112	20
AP 5: Projektmanagement und Dokumentation	21
4. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen	21
5. Durchgeführte Transfermaßnahmen	21
6. Ergebnistransfer in die Wirtschaft	25
7. Durchführende Forschungsstelle	25
Förderhinweis	26
Literaturverzeichnis	27

1. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Der Energiebedarf von Gurtförderanlagen wird im Wesentlichen durch die notwendige Antriebsleistung bestimmt, die sich aus dem Hauptantrieb und Zwischenantrieben zusammensetzt. Zwischenantriebe in Form von angetriebenen Tragrollen werden in Zukunft verstärkt zum Einsatz kommen, da sie im Gegensatz zu konventionellen Kopfantrieben bspw. die Umsetzung von modularen Förderanlagen ermöglichen [Als03, All76]. Diese modularen Anlagen bieten Vorteile in Bezug auf Flexibilität, Skalierbarkeit und Mobilität [Hom11]. Namenhafte Hersteller von Tragrollen (z. B. Interroll AG, Rulmeca Germany GmbH) produzieren bereits Trommelmotoren mit Antriebsleistungen bis zu 3.000 kW, die sich als angetriebene Tragrollen für modulare Förderanlagen eignen. Neben dem vorhandenen Markt existieren auch aktuelle Offenlegungsschriften, die den Einsatz von angetriebenen Tragrollen im Bereich der Schüttgutfördertechnik als schützenswertes Wissen deklarieren [Zil12, Hof14]. Für diese Art von Tragrollen existieren bisher keine Normen oder Prüfstände.

Neben der notwendigen Antriebsleistung macht der Bewegungswiderstand in Form des Laufwiderstands von Tragrollen in der Regel 5 bis 15 % [Gee09], gemäß GLADYSIEWICZ sogar bis zu 30 % [Gla13], des Gesamtenergieverbrauchs einer Gurtförderanlage aus. Unter dem Tragrollenlaufwiderstand wird die Umfangskraft am Tragrollenmantel verstanden, die im Beharrungszustand bei bestimmter Drehzahl, Auflast und Umgebungstemperatur zur Überwindung der durch Lager, Dichtungen und Schmierfett verursachten Reibung notwendig ist [Kro08]. Bei einer Hangabtriebsförderanlage mit einer Länge von 10 km können bis zu 26.000 Tragrollen verbaut sein. Beträgt die Fördergeschwindigkeit 5 m/s und der Laufwiderstand einer Tragrolle 6 N, so werden 200 kWh der Antriebsleistung zur Überwindung dieses Widerstandes benötigt. Durch die Auswahl von spezifisch für den Anwendungsfall ausgelegten Tragrollen mit einem Laufwiderstand von nur 3 N, reduziert sich die Verlustleistung linear auf 100 kWh. Bild 1 zeigt den schematischen Aufbau einer Tragrolle. Die Rillenkugellager und Dichtungen werden spezifisch für die Umgebungsbedingungen, bspw. hohe Auflast bei Schüttgutförderanlagen im Tagebau, ausgelegt. Ebenfalls werden Schmiermittelmenge und -art für definierte Temperaturbereiche ausgewählt und angewendet.

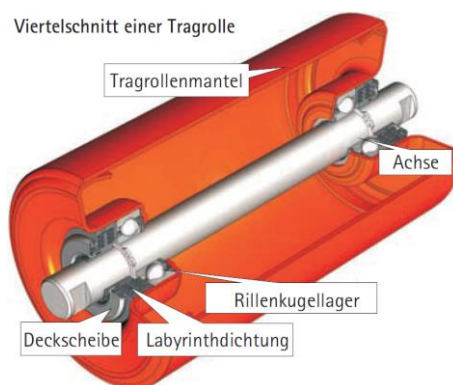


Bild 1: Schematischer Aufbau einer Tragrolle (Quelle: Sandvik Mining and Construction)

Für einen Prüfstand zur Messung des Leistungsbedarfs angetriebener sowie des Laufwiderstands konventioneller Tragrollen werden daher folgende Anforderungen abgeleitet:

Anforderung 1: Abbildung von einsatznahen Einflussgrößen auf angetriebene und konventionelle Tragrollen

In einem Prüfstand, der eine geeignete Messeinrichtung beinhaltet, soll die Abbildung aller praxisrelevanten Einflussgrößen auf den Leistungsbedarf angetriebener und den Laufwiderstand konventioneller Tragrollen möglich sein. Beispiele für diese Einflussgrößen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Einflussgrößen auf den Tragrollenlaufwiderstand

Einflussgröße	Wertebereich
Temperatur	-40 °C bis +40 °C
Auflast	100 N bis 10 kN
Drehgeschwindigkeit	100 min ⁻¹ bis 820 min ⁻¹
Lagertyp	6 204, 6 305, 6 306
Schmiermittelmenge	Herstellerspezifisch

Anforderung 2: Messung des Leistungsbedarfs angetriebener Tragrollen

Die Messung des effektiven Leistungsbedarfs angetriebener Tragrollen unter einsatznahen Bedingungen hinsichtlich der Eignung für deren Einsatz in einer Förderanlage existiert bisher noch nicht. Da der Fördergurt durch die Tragrolle angetrieben wird und nicht wie bei konventionellen Tragrollen mit einem Widerstand beaufschlagt wird, ist bei der Messung der notwendige Leistungsbedarf des Tragrollenantriebs zum Erreichen der geforderten Fördergeschwindigkeit das ausschlaggebende Bewertungskriterium.

Anforderung 3: Kompensation von Störgrößen bei der Messung des Tragrollenlaufwiderstands bzw. des Leistungsbedarfs angetriebener Tragrollen

Realitätsnahe Einsatzbedingungen (z. B. hohe Auflasten in Schüttgutförderanlagen) sind in der Norm DIN 22112-3 nicht berücksichtigt [DIN96]. Ein neu konzipierter Prüfstand soll sämtliche Prüfbedingungen ohne Beeinflussung des Messergebnisses, z. B. durch auftretende Querkräfte, abbilden können.

2. Gegenüberstellung angestrebter Teilziele und erzielter Ergebnisse

Das Ziel des geplanten Vorhabens ist die Unterstützung der energieeffizienten Auslegung von Gurtförderanlagen durch die Entwicklung eines Prüfstands zur Charakterisierung des Laufverhaltens von angetriebenen und konventionellen Tragrollen.

Die genannte Zielsetzung wurde im Forschungsantrag in vier Teilzielen konkretisiert und wird im Folgenden den erzielten Ergebnissen gegenübergestellt.

Teilziel 1: Aufbau eines Wirkmodells zur Abbildung relevanter Einflussgrößen auf die Prüfstandsmessung

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag

Identifikation sämtlicher Zusammenhänge von Prüfbedingungen, Störgrößen und Messgröße.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens

Das Teilziel wurde erreicht. Zusammen mit dem Projektbegleitenden Ausschuss (PA) wurden die relevanten Einflussgrößen aufgenommen. In der Konzeption des Prüfstands wurden die Zusammenhänge zwischen den Größen erarbeitet.

Teilziel 2: Konzeption und Umsetzung einer dualen Messeinrichtung

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag

Aufbau einer dualen Messeinrichtung, die sowohl die elektrische Leistungsmessung angetriebener, als auch die Laufwiderstandsmessung von konventionellen Tragrollen möglich ermöglicht.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens

Das Teilziel wurde erreicht. Mit dem Prüfstand sind die Leistungsmessung an angetriebenen Tragrollen als auch die Laufwiderstandsmessung an konventionellen Tragrollen möglich. Darüber hinaus ist es möglich, die Rundlaufabweichung und die Wuchtgüte von Tragrollen am Prüfstand zu bestimmen.

Teilziel 3: Validierung des Prüfstands

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag

Ermittlung von Reproduzierbarkeit und Messunsicherheiten im System durch externe Kalibrierung der Sensorik sowie Vergleichsmessungen an anderen Prüfeinrichtungen.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens

Das Teilziel wurde erreicht. Durch den Einsatz von temporär eingesetzten externen Sensoren sowie Vergleichsmessungen konnte die Tauglichkeit des Prüfstands nachgewiesen werden.

Teilziel 4: Ableitung von Empfehlungen zur Anpassung der Norm DIN 22112

Angestrebtes Teilziel aus dem Forschungsantrag

Identifikation von qualitativen Abhängigkeiten von Einflussgrößen und Leistungsbedarf angetriebener bzw. Laufwiderstand konventioneller Tragrollen zur Optimierung der Auslegung und Konstruktion von Tragrollen.

Erarbeitung von Empfehlungen zur Anpassung oder Erweiterung der DIN 22112-2 und DIN 22112-3.

Korrespondierende Ergebnisse des Vorhabens

Das Teilziel wurde angepasst. In Übereinkunft mit dem PA wurde beschlossen, auf eine Empfehlung zur Anpassung der Norm DIN 22112 zu verzichten. Die in der Norm genannten Prüfbedingungen gelten zwar nur für einen Teil der in Betrieb befindlichen Anlagen, jedoch bieten sie eine optimale Vergleichbarkeit. Die Untersuchungen hinsichtlich variierender Auflast und Umgebungstemperatur zeigten deren Einfluss. Daher wurde sich darauf verständigt, zusätzlich Prüfungen angelehnt an die angepeilten Arbeits- und Umweltbedingungen zu empfehlen.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Identifikation von Einflussgrößen auf das Laufverhalten von Tragrollen

Durchgeführte Arbeiten

Im Rahmen von AP 1 wurden die Anforderungen an einen Prüfstand zur Charakterisierung des Laufverhaltens angetriebener und konventioneller Tragrollen aufgenommen und mit den beteiligten Projektpartnern diskutiert. Die Anforderungsaufnahme erfolgte abschließend im Rahmen eines Projekttreffens am 13.12.2016 mit allen Projektpartnern. Insbesondere die Einflussgrößen auf das Laufverhalten der Tragrollen wurden diskutiert und im Nachgang aufgearbeitet und strukturiert. In Kombination mit den aus der Praxis bekannten und erforderlichen Prüfbedingungen wurden Kriterien zusammengestellt, die zum Zeitpunkt der Berichtserstellung in einem Lastenheft dokumentiert werden.

Erzielte Ergebnisse

Zu den identifizierten Einflussgrößen zählen Temperatur, Auflast, Schmiermittel, Drehgeschwindigkeit und Lagerart. Als Ergebnis der Anforderungsaufnahme bildet die folgende Liste einen Auszug aus den aufgenommenen Kriterien:

- Prüfbedingungen:
 - Regelbare Auflast auf die Tragrolle (bis 10.000 N)
 - Einseitige Belastung der Tragrolle
 - Drehgeschwindigkeit (bis 820 U/min)
 - Umgebungstemperatur im Prüfbereich (-40 – +60 °C)
 - Ausgleich der Luftfeuchtigkeit im Prüfbereich
- Messkörpereigenschaften:
 - Achsdurchmesser (20 – 60 mm)
 - Tragrollendurchmesser (89 – 219 mm)
 - Tragrollenlänge (250 – 1500 mm)
 - Oberflächenbeschichtung (glatte Oberfläche)
 - Rollenmantelbeschichtung (Stahl, Kunststoff)

Für konventionelle und angetriebene Tragrollen gelten größtenteils dieselben Anforderungen. Eine Differenzierung und damit Auswirkungen auf den Prüfstand stellt die zu erfassende Messgröße dar. Im Gegensatz zum Tragrollenlaufwiderstand bei konventionellen Tragrollen, wird bei der Charakterisierung von angetriebenen Tragrollen die Leistungsaufnahme für den internen Motor gemessen und daraus ein Lastprofil bzw. eine Motorkennlinie abgeleitet.

AP 2: Konzeption

AP 2.1: Konzeption Messverfahren Leistungsbedarf

Durchgeführte Arbeiten

Zur Messung des Leistungsbedarfs angetriebener Tragrollen soll die angetriebene Tragrolle das Antriebsrad antreiben, welches in diesem Messverfahren im Bremsbetrieb läuft. Die Leistungsmessung erfolgt direkt im Frequenzumrichter der angetriebenen Tragrolle. Dazu wurde ein Frequenzumrichter zum Betrieb der angetriebenen Tragrollen ausgewählt, der dies

ermöglicht. Das Konzept für den Motor und Frequenzumrichter des Antriebrads sieht die Möglichkeit einer momentgesteuerten Regelung mit Bremswiderstand vor.

Erzielte Ergebnisse

Die ausgewählten Komponenten wurden in AP 2.4 in das Konzept für den gesamten Prüfstand aufgenommen. Das Konzept sieht die Aufzeichnung der Leistungsdaten des Frequenzumrichters und damit der Motordaten der angetriebenen Tragrolle vor, während über die Steuerung das Antriebsrad des Prüfstands ein definiertes Bremsmoment entgegengesetzt. Das Prinzip wird in Bild 2 dargestellt.

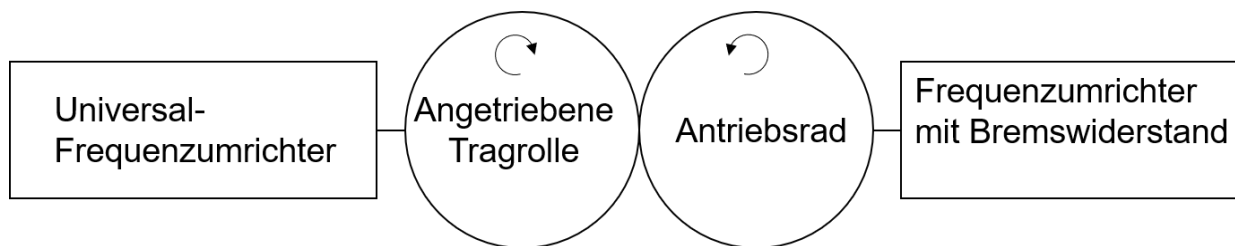


Bild 2: Konzeptskizze Leistungsmessung angetriebener Tragrollen

AP 2.2: Konzeption Messverfahren Laufwiderstand

Durchgeführte Arbeiten

Die Konzeption des Messverfahrens für den Laufwiderstand ist angelehnt an die Messung des Laufwiderstands nach DIN 22112-3 [DIN96]. Basierend darauf wurde das Konzept an moderne technische Möglichkeiten angepasst und die passenden Komponenten ausgewählt.

Erzielte Ergebnisse

Basierend auf der DIN 22112-3 wird das Drehmoment der Tragrollenachse erfasst. Dazu wird die Tragrollenachse an beiden Enden in Kranzspannfuttern aufgenommen. Diese Futter sind auf Wellen montiert, die wiederum am Prüfstand mittels Keramiklagern gelagert sind. Eine der Wellen ist frei drehbar gelagert. Bei der anderen Welle nimmt ein Drehmomentsensor die Verdrehung der Welle und über die Einspannung auch das Drehmoment der Tragrollenachse auf. Bild 3 zeigt den Aufbau in vereinfachter Darstellung.

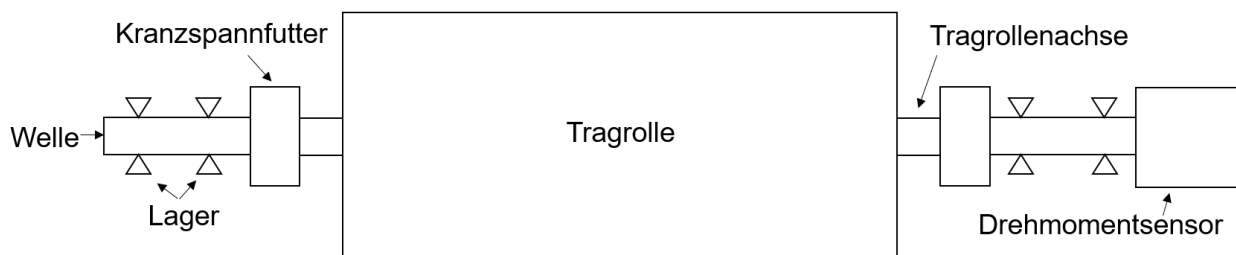


Bild 3: Konzeptskizze Laufwiderstandsmessung

AP 2.3: Konzeption duale Messeinrichtung

Durchgeführte Arbeiten

Die Konzepte für die Messung des Leistungsbedarfs und des Laufwiderstands wurden von Beginn an so gedacht, dass eine Kombination möglich ist. Die vorherigen Arbeitspakete wurden kombiniert und Teil des folgenden Arbeitspakets.

Erzielte Ergebnisse

Durch die Verwendung eines Antriebsrads sind sowohl die Messung von angetriebenen als auch von konventionellen Tragrollen möglich. Bei der Messung von angetriebenen Tragrollen ist es möglich, den Leistungsbedarf der angetriebenen Tragrolle bei unterschiedlichen Bremsmomenten zu messen. Das entwickelte Konzept des Prüfstands erlaubt neben der Messung des Laufwiderstands konventioneller Tragrollen auch die Messung von Rundlauf und Wuchtgüte sowohl von angetriebenen als auch konventionellen Tragrollen.

AP 2.4: Konzeption Prüfstand

Durchgeführte Arbeiten

Nachdem in AP 1 das Lastenheft erstellt wurde, konnte auf Basis dieses Lastenhefts die Konzeption (AP 2) vorangetrieben werden. Die Konzeption beinhaltet sowohl den mechanischen Aufbau des Prüfstands als auch die Auswahl der elektrischen bzw. elektronischen Komponenten. Die Messprinzipien und -verfahren wurden durch eine ausführliche Literaturrecherche und Gespräche mit dem PA ausgewählt bzw. entwickelt. Im zweiten Projekttreffen am 19.07.2017 wurde der erste Grobentwurf der Konzeption dem PA vorgestellt und diskutiert. Konkrete Bauteile wie z. B. Sensorikkomponenten wurden anhand von Herstellerkatalogen und persönlichen Beratungsgesprächen ausgewählt.

Erzielte Ergebnisse

Die gesamte Konstruktion des Prüfstands wurde mit Hilfe des CAD-Programms AutoCAD dreidimensional erstellt. Als Grundgerüst dient dem Prüfstand ein Profilgestell. Das Gestell aus 80 x 80 mm Boschprofilen ermöglicht ein Höchstmaß an Flexibilität für z. B. zukünftige Anpassungen und lässt den kompletten Aufbau und Bearbeitung in der Forschungseinrichtung zu (vgl. Bild 4, links).

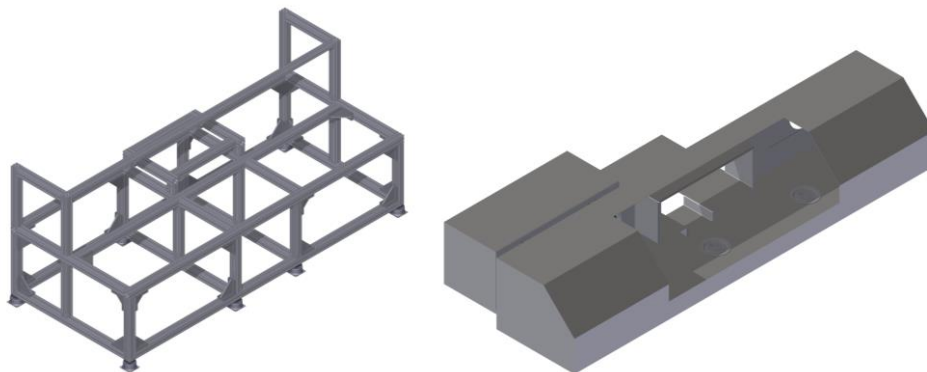


Bild 4: Grundgestell des Tragrollenprüfstands aus einer Profilkonstruktion (links), Edelstahlkonstruktion für die Klimakammer (rechts)

Das Gestell hat Abmessungen von ca. 3,5 x 1,6 x 1,5 m. Auf dem Gestell wird eine Edelstahlblechkonstruktion befestigt, welche den Rahmen für die Klimakammer und damit den Prüfraum darstellt. Für den Antrieb und Hubeinheit sind ebenso wie für das Klimaaggregat Aussparungen vorgesehen (vgl. Bild 4, rechts)

Die Konzeption sieht vor, die Auflast horizontal auf die zu prüfende Tragrolle über einen elektromechanischen Hubzylinder aufzubringen. Der Kontakt findet über ein speziell beschichtetes Rad statt. Wird eine konventionelle Tragrolle geprüft, treibt das Rad diese an. Bei

der Prüfung von angetriebenen Tragrollen fungiert das Rad als Bremse und die übertragene Leistung auf das Rad kann über ein Leistungsmessgerät aufgenommen werden (vgl. Bild 5).

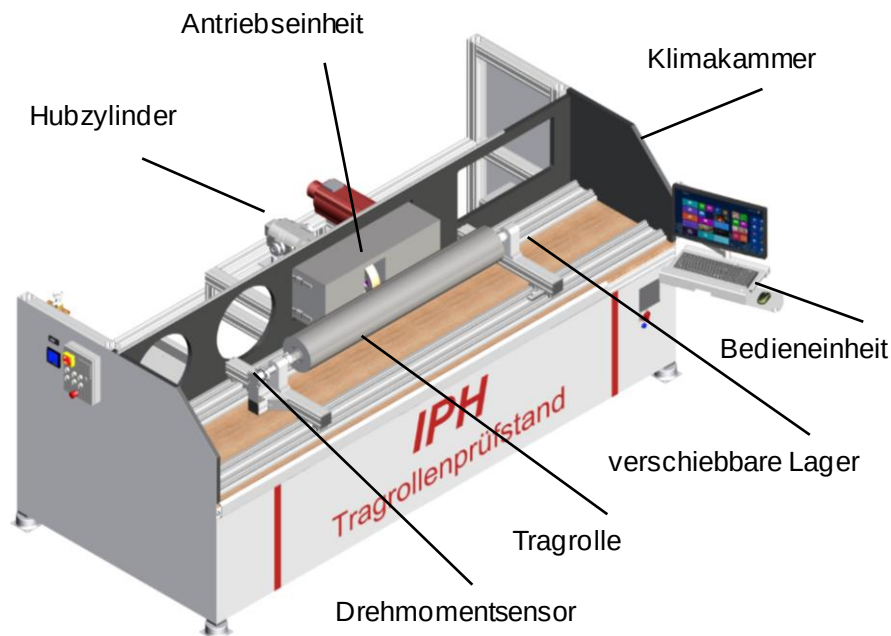


Bild 5: Beschriftetes Konzeptbild des Tragrollenprüfstands (frühes Entwurfsstadium)

Die Tragrolle wird abhängig von der gewünschten Position der Auflast auf zwei unabhängig voneinander verschiebbaren Lagern mit Kranzspannfuttern befestigt. Einseitig ist ein Drehmomentsensor über eine Kupplung mit dem Lager verbunden. Mit diesem Sensor wird der Laufwiderstand der Tragrolle gemessen. Ein weiterer Sensor, eine Reflexionslichtschranke, nimmt unabhängig der von der Motorsteuerung gemessenen Drehzahl die Umdrehungen pro Minute der Tragrolle auf. Ein Lasertriangulationssensor ist in der Lage, den Rundlauf der Tragrolle zu erfassen (vgl. Bild 6).

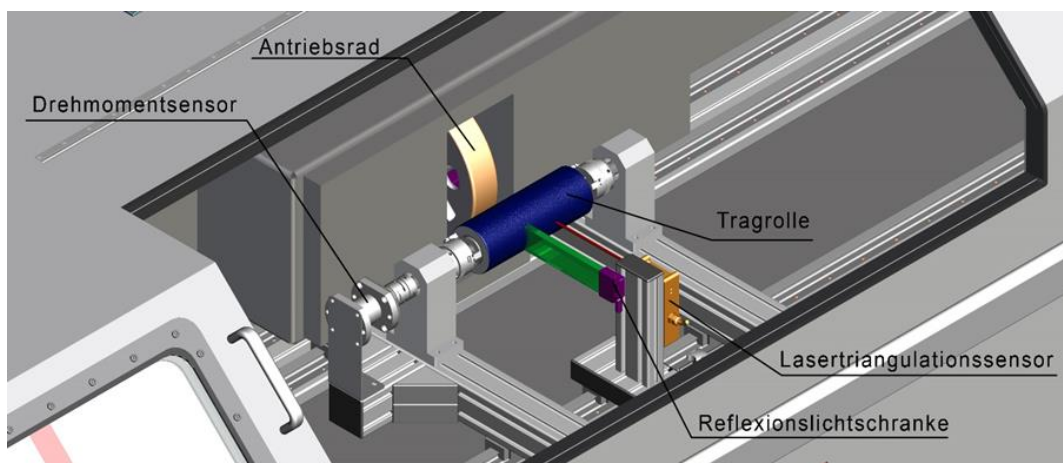


Bild 6: Sensorik des Tragrollenprüfstands

Für das Zusammenspiel zwischen Sensorik und Aktorik wurde ein übergreifendes Steuerungskonzept entwickelt. Der Gesamtkonzept zur Verbindung der Hardwarekomponenten ist in Bild 7 dargestellt.

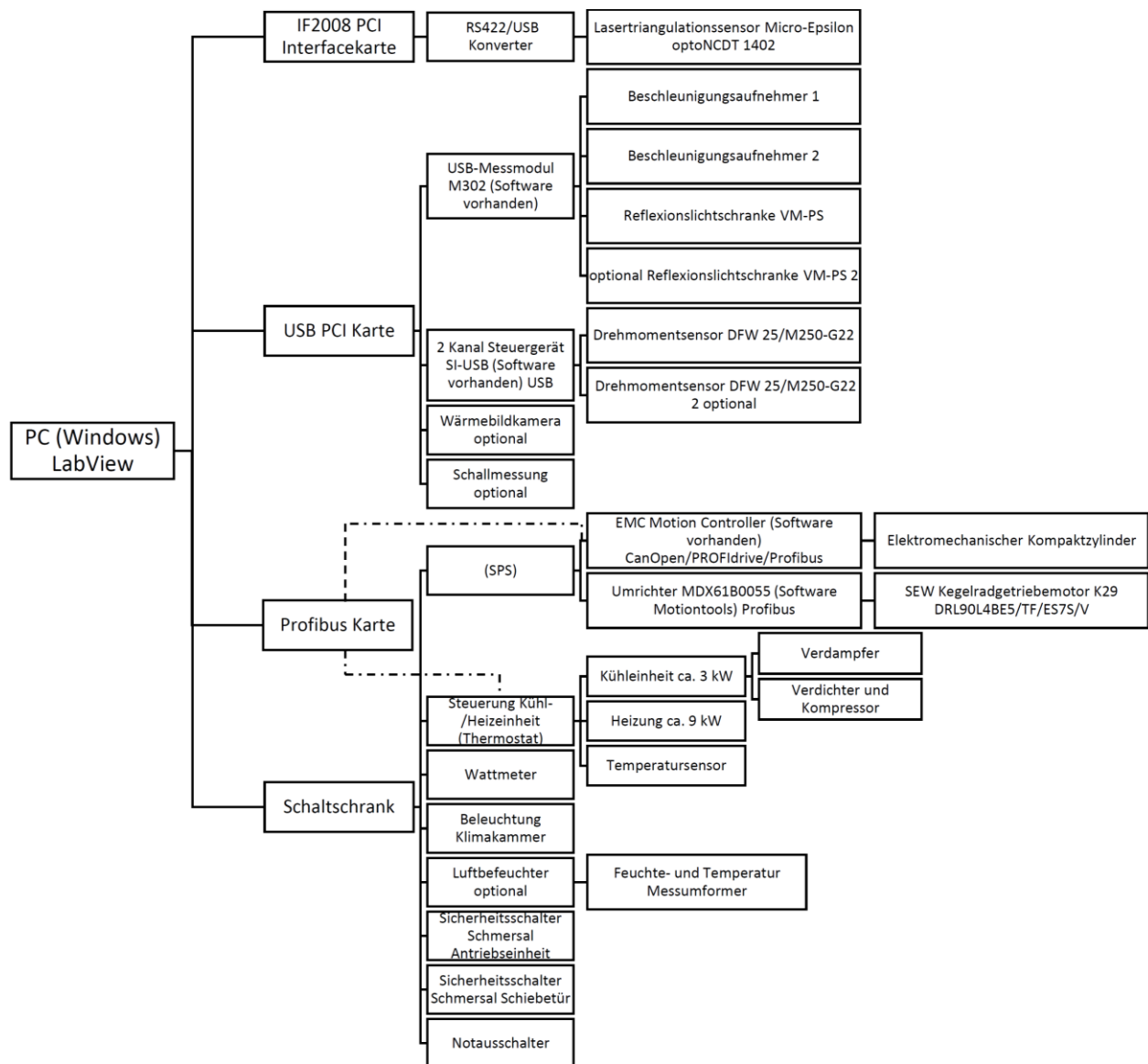


Bild 7: Steuerungskonzept des Tragrollenprüfstands

Dieses Konzept wurde im weiteren Verlauf des Projekts mit erfahrenen Steuerungstechnikern diskutiert und iterativ angepasst. Die Umsetzung erfolgt in der Forschungseinrichtung mit dem vorhandenen Steuerungsumgebung LabVIEW von National Instruments.

In Bild 8 ist der gesamte Prüfstand als Konzept mit Vorderansicht und Rückansicht zu sehen.

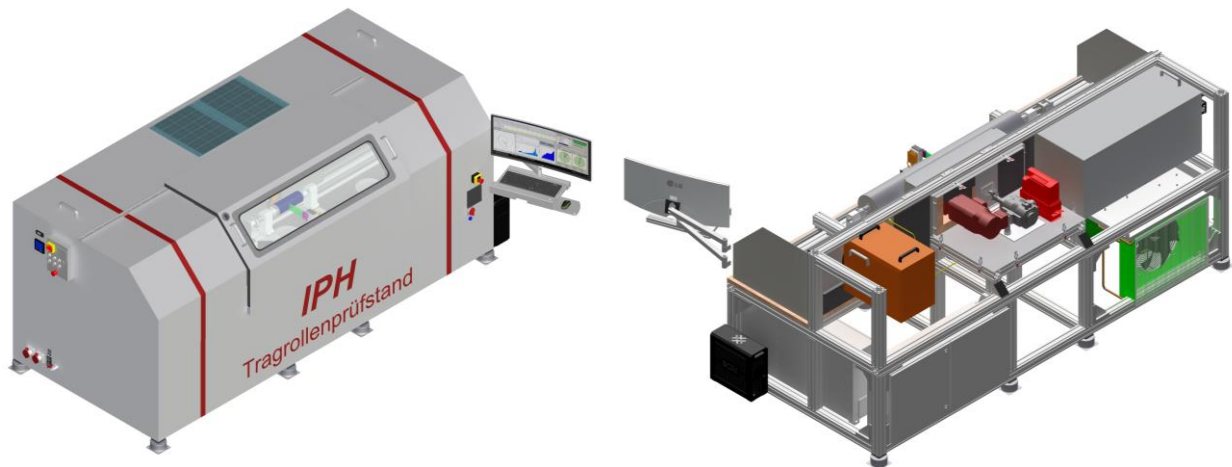


Bild 8: Vorderansicht (links) und Rückansicht (rechts) des Tragrollenprüfstands

AP 3: Umsetzung

AP 3.1: Aufbau Messeinrichtung und Prüfstand

Durchgeführte Arbeiten

Auf Basis der in AP 2 abgeschlossenen Konzeption wurde der Prüfstand aufgebaut. Das AP 3 beinhaltet neben dem Aufbau die Beschaffung der einzelnen Komponenten. Basierend auf dem aufgebauten Gestell mit Klimakammer wurden alle Aktoren und Sensoren verbaut. Anschließend wurden alle Elemente verbunden und in die Steuerung eingebunden.

Erzielte Ergebnisse

Das Grundgerüst hat die Abmessungen 3,8 m x 1,8 m x 1,7 m (L x B x H) und besteht aus Aluminiumprofilen mit den Abmessungen 80 mm x 80 mm (L x B) (vgl. Bild 9).

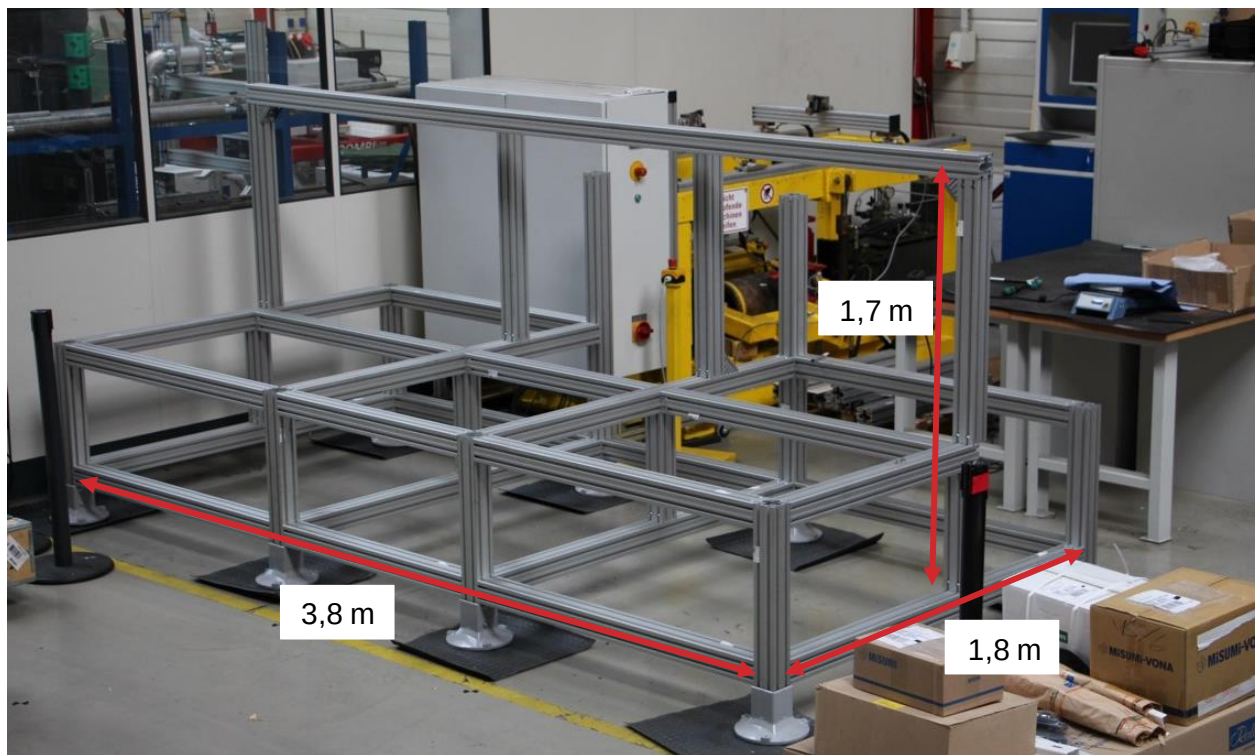


Bild 9: Grundgerüst des Prüfstands

Die gelieferte Klimakammer wurde auf dem Gestell montiert. Die Kühlung erfolgt über ein intern verbautes Kühlaggregat, dessen Verdampfer sich in der Klimakammer befinden (vgl. Bild 10). Die Dämmung wurde auf Vorder-, Ober- und Unterseite installiert.

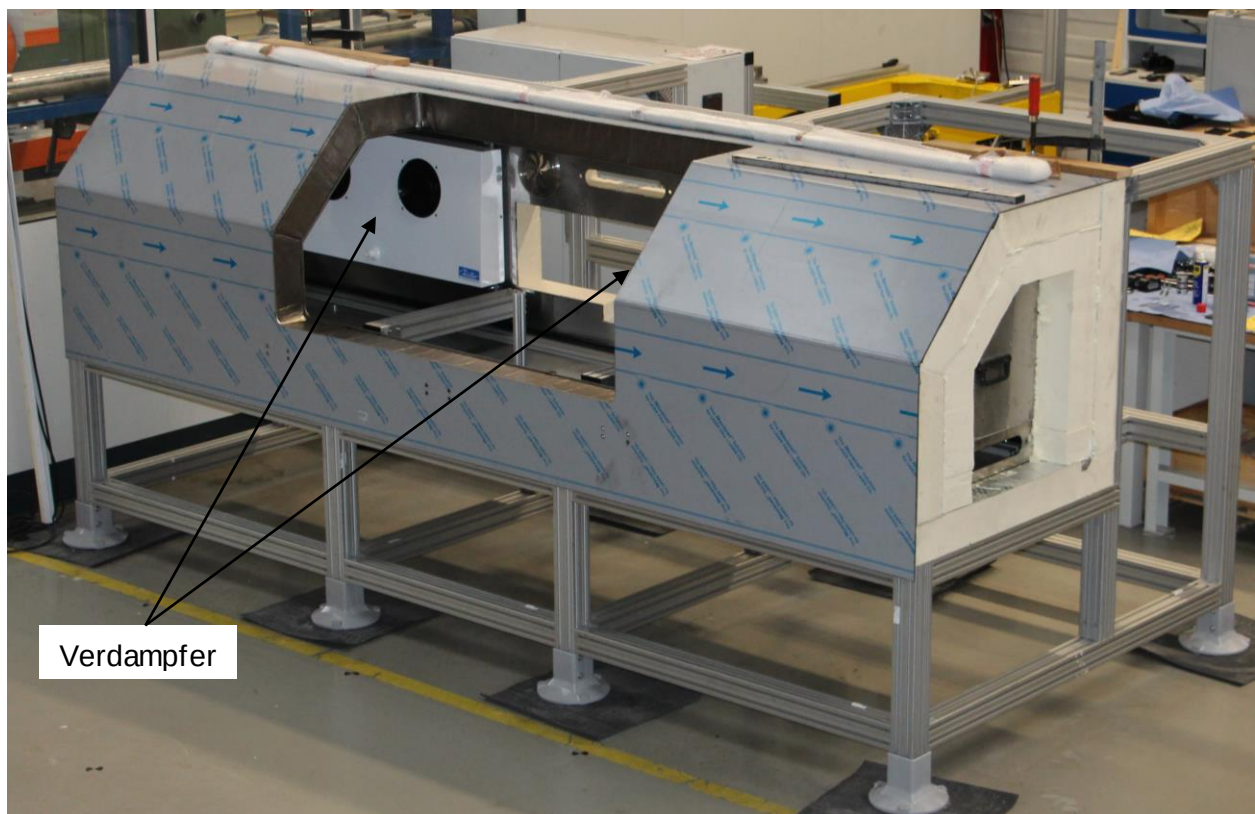


Bild 10: Prüfstandsaufbau am 20.12.2018

Die Linearführungen für die Halterung der Tragrollen wurden verbaut. Der Kegelradgetriebemotor für den Antrieb, der Kompaktzylinder für die Auflast sowie die Sensoren für Drehmoment und Temperatur wurden montiert.

Der fertig montierte Tragrollenprüfstand ist in Bild 11 zu sehen.



Bild 11: Tragrollenprüfstand

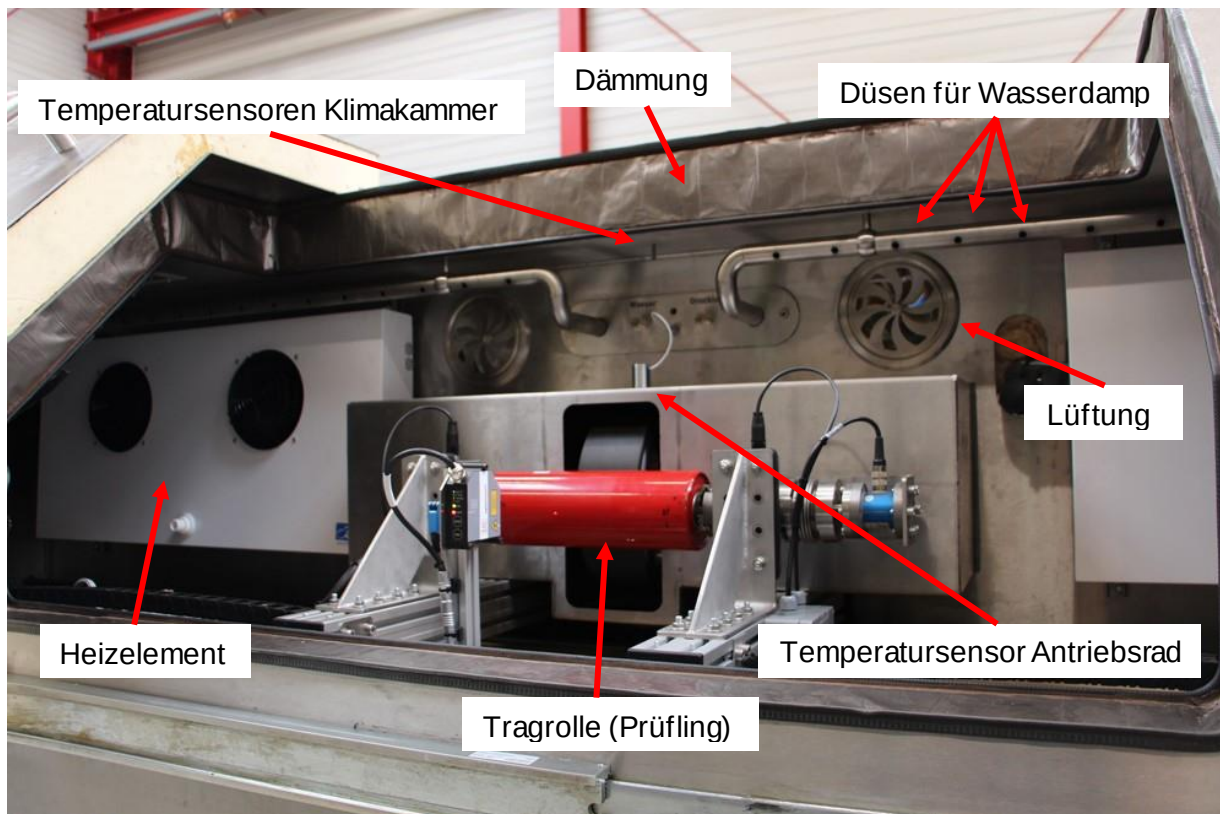


Bild 12: Elemente der Klimakammer

In Bild 12 ist die Klimakammer abgebildet. Die Luft in der Klimakammer kann durch Heizelemente erwärmt und durch ein Kühlaggregat gekühlt werden. Mit Hilfe der eingebauten Temperaturregelung kann die Temperatur auf 0,5 °C genau eingestellt werden. Das einstellbare Temperaturspektrum reicht von -40 °C bis 60 °C. Zur Überwachung der Temperatur sind in der Klimakammer drei Temperatursensoren verbaut. Diese sind mit der Klimaregelung und dem Steuer-PC verbunden. Ein weiterer Temperatursensor wird für die Überwachung der Temperatur des Antriebsrads eingesetzt. Damit wird gewährleistet, dass eine Überhitzung des Antriebsrads rechtzeitig erkannt und eine automatische Abschaltung aktiviert wird.

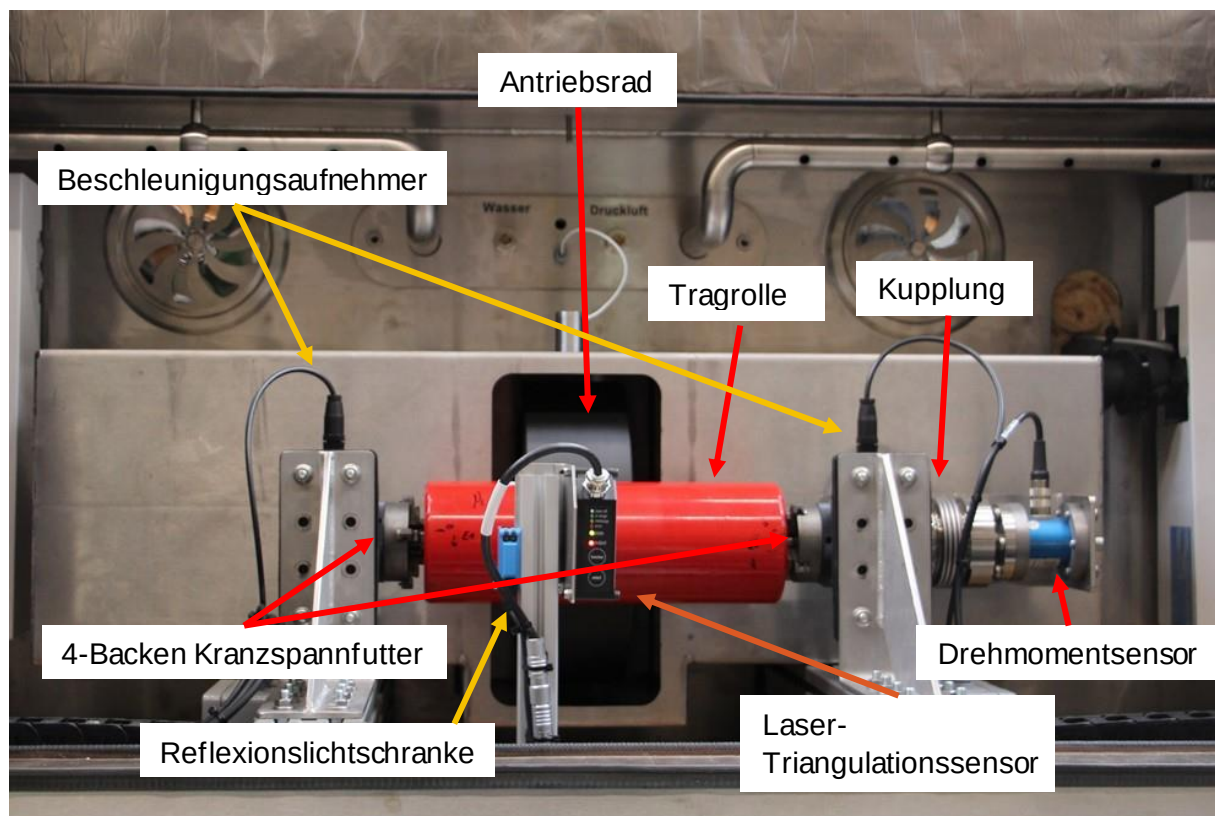


Bild 13: Sensoren zur Aufnahme von Laufwiderstand (rot), Rundlauf (orange) und Wuchtgüte (gelb)

Mit dem Prüfstand sind die Messung von Laufwiderstand, Rundlauf und Wuchtgüte möglich. In Bild 13 sind die verbauten Sensoren abgebildet. Für alle Messungen wird die Tragrollenachse beidseitig in 4-Backen Kranzspannfutter eingespannt. Gedreht wird die Tragrolle durch das Antriebsrad, das auf einem beweglichen Schlitten horizontal gegen die Tragrolle gedrückt wird. Der Drehmomentsensor nimmt das Torsionsmoment der Tragrollenachse auf. Aus diesem kann rechnerisch der Laufwiderstand der Tragrolle ermittelt werden. Für die Messung des Rundlaufs wird der Laser-Triangulationslaser eingesetzt. Dieser ist horizontal entlang der Tragrollenachse verschiebbar. Für die Messung wird die Tragrolle einmal gedreht und parallel erfolgt die Distanzmessung mit dem Laser-Triangulationssensor.

AP 3.2: Aufbau Steuerung und Auswertung

Durchgeführte Arbeiten

Zur Steuerung des Prüfstands wurde ein Programm entwickelt. Bestandteil des entwickelten Programms ist eine intuitiv zu bedienende Benutzeroberfläche, über die alle relevanten Parameter mittels des Touchdisplays oder die weitere Peripherie (Tastatur und Maus) des Steuerungscomputers eingestellt werden können. Das Layout der Benutzeroberfläche ist beispielhaft für die Laufwiderstandsmessung in Bild 14 dargestellt. Im Programm können Parameter für die Messung wie Dimensionen der Tragrolle und Einroll- bzw. Zykluszeit hinterlegt und verarbeitet werden. Die Messwerte werden während der Messung angezeigt und können als Diagramm oder in eine Excel-Datei exportiert werden.



Bild 14: Benutzeroberfläche der Steuerungssoftware

Die Daten werden in Excel mit einem Makro weiterverarbeitet. Der Laufwiderstand wird berechnet und die dazugehörige Standardabweichung angegeben.

Erzielte Ergebnisse

Der aufgebaute Tragrollenprüfstand kann über das entwickelte Programm komfortabel bedient werden und alle relevanten Messwerte werden ausgegeben und gespeichert.

Für die Wuchtgütemessung wird eine externe Software verwendet. Das Programm des Prüfstands dient in diesem Fall der Steuerung, die Messwertaufnahme erfolgt über das Programm VIBRO-METRA. Dieses Programm gibt einen vollständigen Prüfbericht zur Wuchtgüte aus.

AP 3.3: Funktionstest und Kalibrierung

Durchgeführte Arbeiten

In den Funktionstests wurden die Aktoren und Sensoren zunächst einzeln auf Funktion getestet. Zur Kontrolle der Auflast und als Funktionstest für den elektromechanischen Kompaktzylinder wurde der Schlitten mit dem Antriebsrad in Richtung der Tragrollenaufnahme gedrückt. An der Tragrollenaufnahme wurde für den Funktionstest eine kalibrierte Kraftmessdose angebracht. Mit dieser wurde die Genauigkeit des Kraftmessbolzens des elektromechanischen Kompaktzylinders nachgewiesen.

Erzielte Ergebnisse

Die Funktion aller Komponenten konnte nachgewiesen werden. Eine Kalibrierung war nicht notwendig.

AP 4: Validierung

AP 4.1: Experimentelle Versuche

Durchgeführte Arbeiten

Die durchgeführten Testreihen wurden im Vergleich zum Antrag leicht modifiziert. Da gemeinsam mit dem PA leicht abweichende Prüfbedingungen festgelegt wurden.

Die Laufwiderstandsmessung konnte validiert werden. Darüber hinaus konnte die Klimakammer getestet und deren Funktion durch Messungen bei verschiedenen Temperaturen sichergestellt werden. Die Validierung der Messung von Wuchtgüte, Rundlauf und angetriebenen Tragrollen wurde abgeschlossen.

Erzielte Ergebnisse

Im ersten Schritt wurden Tragrollen, deren Eigenschaften aus vorherigen Messungen mit dem bestehenden Prüfstand bekannt sind, in Bezug auf den Laufwiderstand gemessen. Die Messungen zeigten die erwarteten Werte auf. In Bild 15 sind die ermittelten Messwerte einer Laufwiderstandsmessung dargestellt.

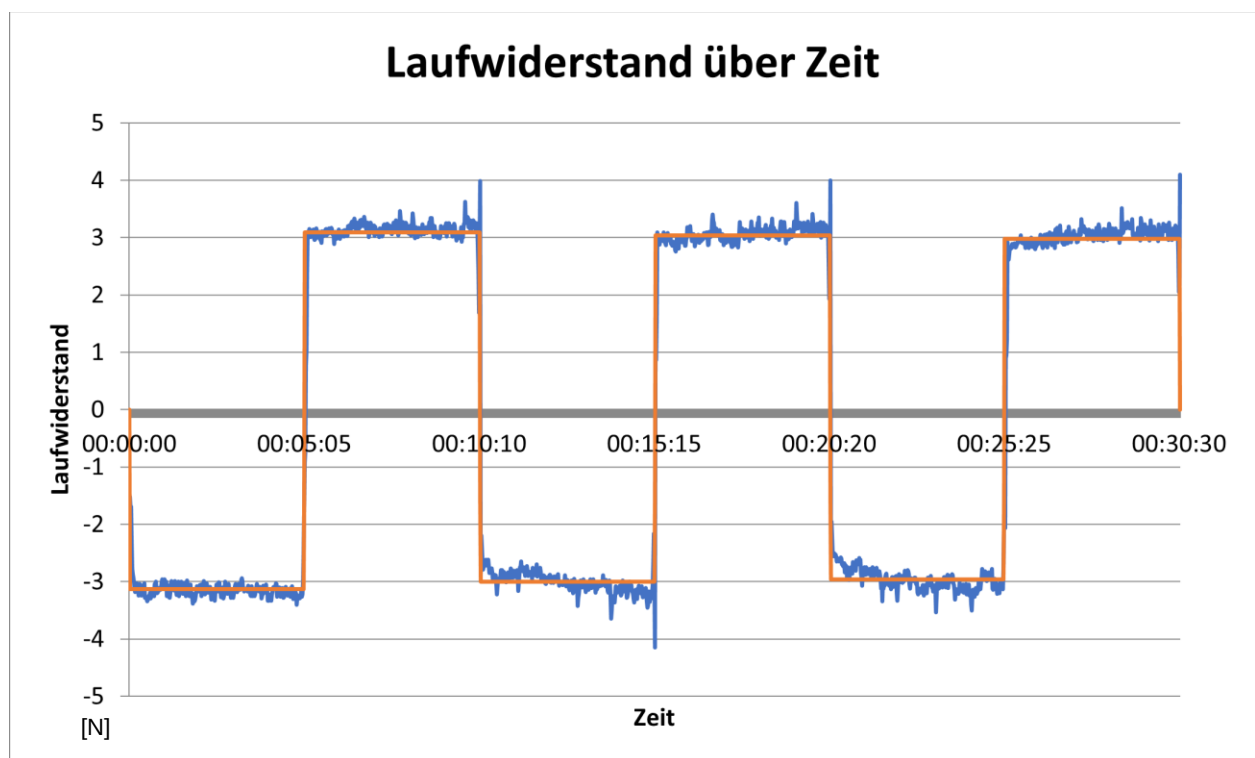


Bild 15: Laufwiderstandmessung

Das Diagramm zeigt den Laufwiderstand als Laufreibkraft, berechnet aus dem aufgenommenen Drehmoment und dem Radius der Tragrolle. Die blaue Linie zeigt den Laufwiderstand für 6 Zyklen mit 5 Richtungswechseln. Die orangefarbene Linie ist das arithmetische Mittel der einzelnen Zyklen. Daraus wird der Gesamtlaufwiderstand berechnet.

Im weiteren Verlauf wurden Messungen des Laufwiderstands mit unterschiedlichen Auflasten durchgeführt. Bild 16 zeigt die Ergebnisse einer Messung mit 250 N und 500 N Auflast. Der

Einfluss der Auflast ist durch einen größeren Laufwiderstand bei den Richtungswechseln zu erkennen.

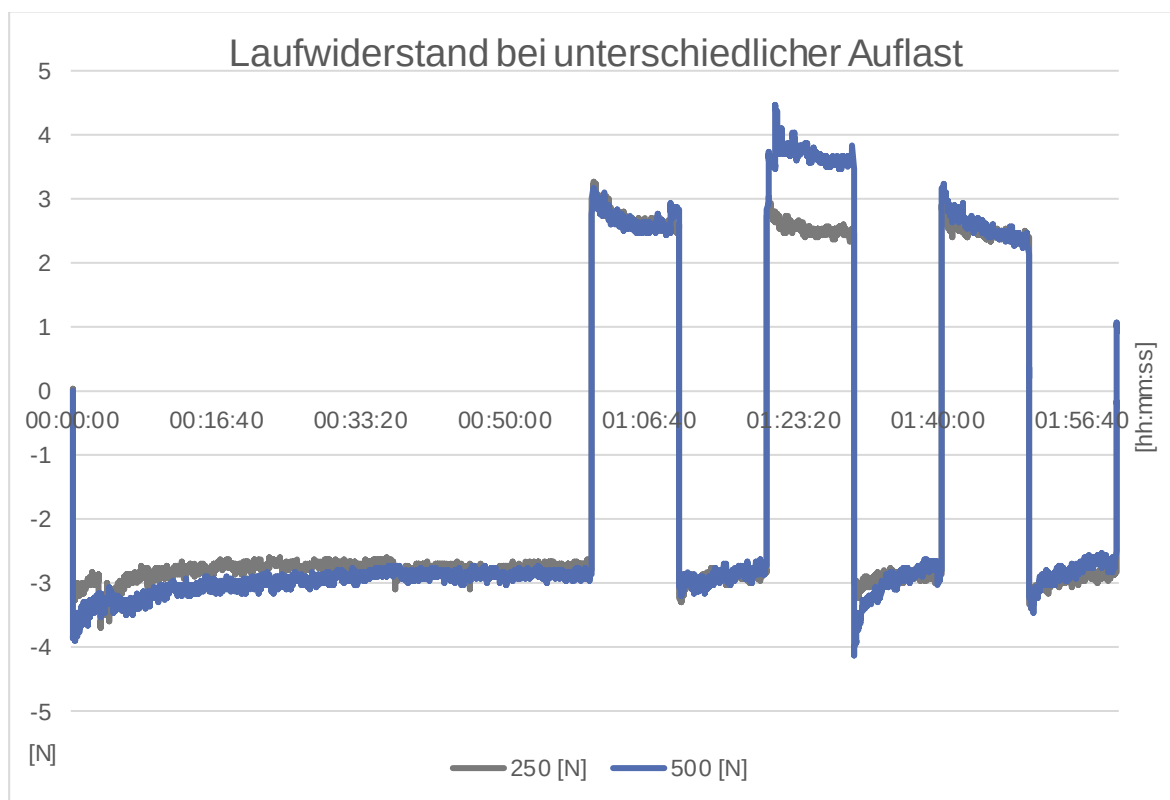


Bild 16: Laufwiderstand bei unterschiedlicher Auflast und konstanter Temperatur (20 °C)

Andere Messreihen wurden bei konstanter Auflast bei unterschiedlichen Temperaturen in der Klimakammer erzeugt. Die Laufwiderstände einer Tragrolle bei 0 °C und 20 °C sind in Bild 17 zu sehen. Auch in diesem Fall tritt unter ungünstigeren Bedingungen (niedrigere Temperatur) ein höherer Laufwiderstand vor allem beim Richtungswechsel auf. Besonders relevant ist der Einfluss der Umgebungstemperatur auf das Losbrechmoment bei starken Minusgraden. Das kann dazu führen, dass die Tragrolle nicht in Bewegung versetzt werden kann.

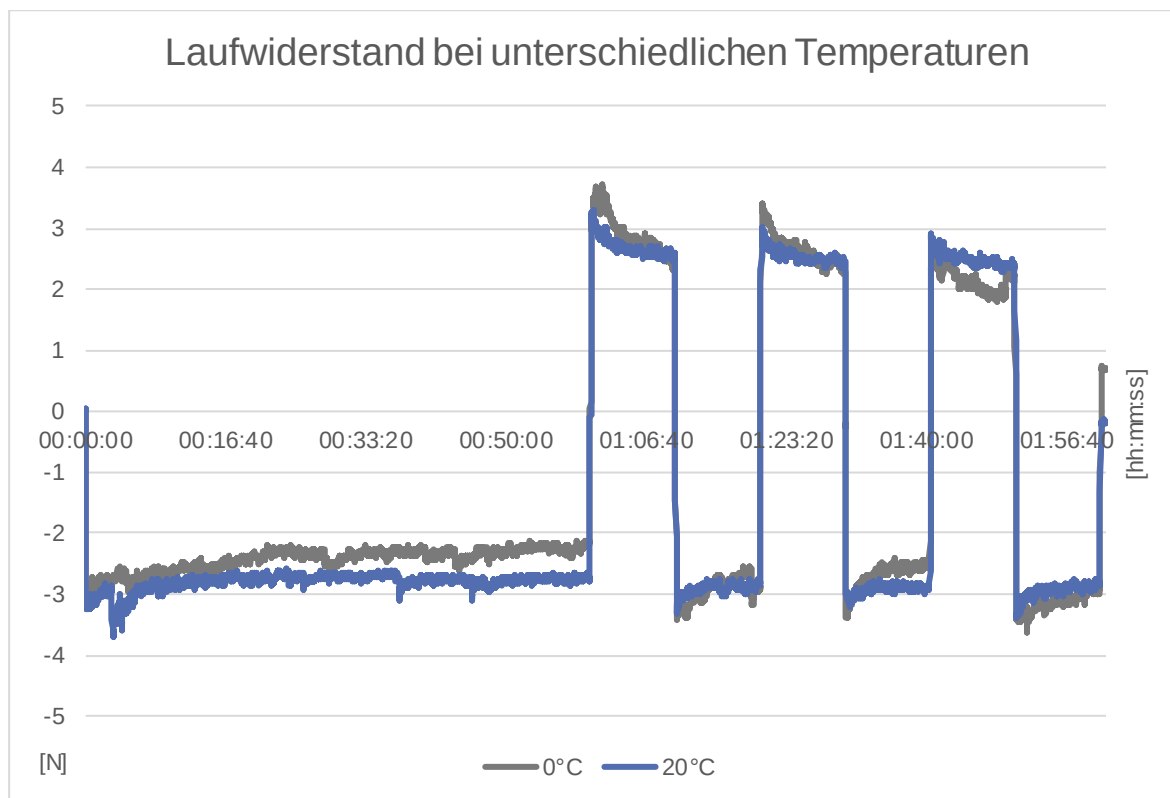


Bild 17: Laufwiderstand bei unterschiedlichen Temperaturen und konstanter Auflast (250 N)

Zur Validierung der Wuchtgütemessung konnte auf ein breites Spektrum an Tragrollen mit bekannter Unwucht zurückgegriffen werden. Vergleichsmessungen wiesen die Funktion des VIBRO-METRA-Systems. In Bild 18 wird das Ergebnis einer Wuchtgüteprüfung dargestellt. Das Ergebnis entspricht den Erwartungen aus vorherigen Messungen der selben Tragrolle.

Urzustand

Auswuchtebene A: 2520,4 g•mm / 239,5 °

Auswuchtebene B: 1447,3 g•mm / 258,0 °

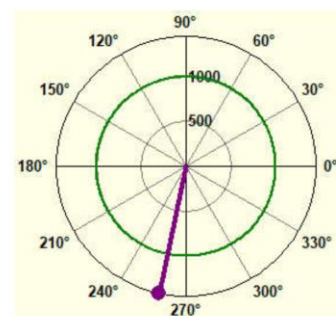
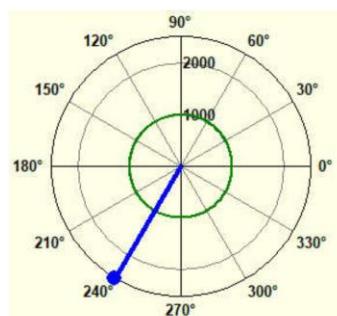


Bild 18: Ergebnis einer Wuchtgüteprüfung

Für die Validierung der Leistungsmessung angetriebener Tragrollen lagen keine Vergleichswerte vor, da dies der erste Prüfstand für angetriebene Tragrollen ist. In Bild 19 ist eine angetriebene Tragrolle im Tragrollenprüfstand zu sehen.



Bild 19: Angetriebene Tragrolle

Bild 20 zeigt die Leistungsdaten einer Messung mit Richtungswechsel. Am Umrichter der angetriebenen Tragrolle wurden der Motorstrom, der Drehzahlsollwert, die Frequenz und die Motorspannung aufgezeichnet. Damit konnte gezeigt werden, dass auch die Messung angetriebener Tragrollen mit dem Prüfstand möglich ist.

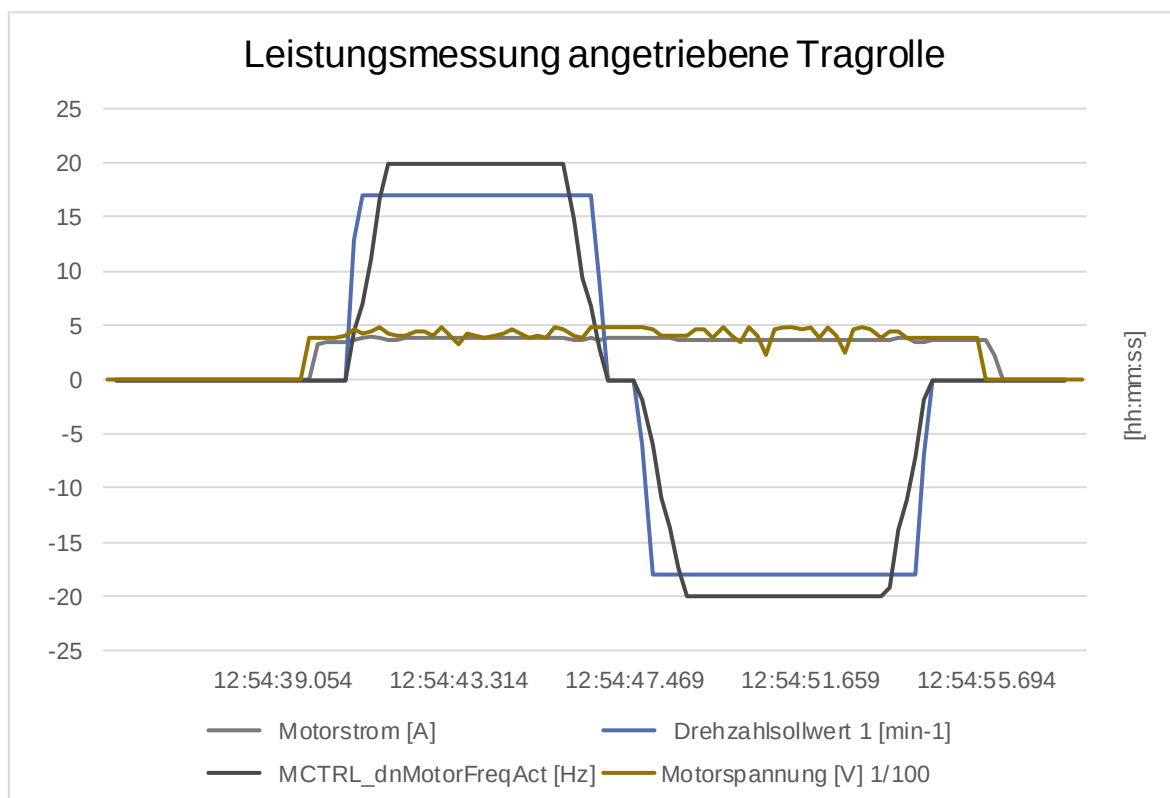


Bild 20: Leistungsmessung einer angetriebenen Tragrolle

AP 4.2: Empfehlungen für die DIN 22112

Durchgeführte Arbeiten

Auf dem Treffen des PA am 10.10.2018 in Northeim wurde die mögliche Änderung der DIN 22112-3 ausgiebig diskutiert. An der Diskussion beteiligten sich Repräsentanten der relevanten Marktteilnehmer Tragrollenhersteller, Anlagenbauer und Anlagenbetreiber.

Erzielte Ergebnisse

Die Teilnehmer verwiesen darauf, dass eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse für sie das Wichtigste ist. Um auch die Vergleichbarkeit mit Ergebnissen aus der Vergangenheit weiter zu gewährleisten, widersprach die Mehrheit einer Änderung der DIN. Der Einfluss von Auflast und Umgebungstemperatur konnte in der Validierung gezeigt werden. Um eine optimale Auslegung von Anlagen zu ermöglichen, besteht für zukünftige Prüfungen die Möglichkeit die Einsatzbedingungen realistisch nachzubilden.

AP 5: Projektmanagement und Dokumentation

Durchgeführte Arbeiten

Das Projektmanagement war zu einem großen Teil die Beschaffung und das Controlling der zahlreichen Komponenten für den Prüfstand. Die Organisation der PA-Treffen sowie die Veröffentlichung der Projektergebnisse waren Teil des Arbeitspakets.

Erzielte Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden vier PA-Treffen organisiert und durchgeführt. Das Projekt wurde auf drei Konferenzen sowohl der Wissenschaftscommunity als auch den Vertretern der Branche vorgestellt. Neben den Konferenzbänden wurden Artikel in zwei weiteren Printmedien veröffentlicht. Dokumentiert wurde das Projekt in Zwischenberichten und diesem Abschlussbericht.

4. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen

Ein wesentliches Ergebnis des Projekts ist der entstandene Prüfstand. Mit diesem werden zukünftig Tragrollen unter verschiedenen Bedingungen getestet. Ein weiterer Nutzen sind die gesammelten Erkenntnisse um Laufverhalten der konventionellen Tragrollen bei unterschiedlichen äußeren Bedingungen. Die Erkenntnisse zum Laufverhalten bei unterschiedlichen Temperaturen können Hersteller zur Auswahl der Lagerfette heranziehen. Aus dem Laufverhalten bei unterschiedlicher Auflast kann die optimale Dimensionierung der Lager der Tragrolle abgeleitet werden. Simulationen feuchter Umgebungen ermöglichen Erkenntnisse zu den verwendeten Labyrinthdichtungen der Tragrollen. Durch diese Erkenntnisse können Tragrollenhersteller ihre Produkte optimieren.

5. Durchgeführte Transfermaßnahmen

Viele Schritte zum Ergebnistransfer sind während der Projektlaufzeit durchgeführt worden. Einige Maßnahmen zur Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse sind im Anschluss an das Projekt vorgesehen. Über den Austausch zwischen den Unternehmen des PA sowie weiteren interessierten Unternehmen hat bereits ein erster Wissenstransfer stattgefunden. Tabelle 5 zeigt detailliert die bereits durchgeführten Transfermaßnahmen mit den zugehörigen Zeiträumen. In Tabelle 6 sind die geplanten Transfermaßnahmen aufgelistet, die über die Projektlaufzeit hinaus reichen.

Tabelle 2: Durchgeführte Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Wissenschaftliche Publikationen / Dissertation, in Fachzeitschriften oder sonstigen gedruckten Veröffentlichungen	Informationstransfer und Austausch mit Interessenten aus Industrie und Wissenschaft	Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L.: Test stand for the investigation of driven rollers. In: 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore, 2017, pp. 2098-2101.	10.-13.12.2017
		Küster, B.; Alshov, A.; Eilert, B.; Overmeyer, L.: Tragrollen auf dem Prüfstand. In: Hebezeuge-Fördermittel, Ausgabe 10, 2017, S.24-26.	15.10.2017
		Kriwall, A.; Alshov, A.; Küster, B.: Development of a Dual Test Rig for the Investigation of Conventional and Driven Rollers. In: Proceedings of Symposium on Automated Systems and Technologies, TEWISS Verlag, Hannover, 2018, S.49-54, ISBN: 978-3-95900-223-3.	27.-28.09.2018
		Kriwall, A.; Alshov, A.; Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L.: Entwicklung eines Prüfstands zur Untersuchung des Laufverhaltens von konventionellen und angetriebenen Tragrollen unter einsatznahen Bedingungen. In: 24. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2019 „Digitalisierung in der Schüttgutfördertechnik. Logisch GmbH, Magdeburg, 2019, S. 131-142, ISBN: 978-3-947068-06-7.	25.-26.09.2019
		Kriwall, A.; Küster, B.; Alshov, A.: Tragrollen von Schüttgutförderanlagen unter Einsatzbedingungen prüfen. In: Der Lebensmittelbrief - ernährung aktuell, Lebensmittel-Informations-Dienst GmbH, 31. Jg. (2020), H.1, S. 30-31. ISSN 1866-6787.	07.01.2020
Information der Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA)	Unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft, Fortschrittsbericht, Diskussion, Festlegungen, Abstimmung, Erfahrungsaustausch innerhalb des PA	Kick-off mit dem PA	13.12.2016
		2. Projekttreffen	19.07.2017

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
		3. Projekttreffen	10.10.2018
		4. Projekttreffen	17.12.2020
Treffen mit potenziell interessierten Unternehmen	Informationsaustausch und Austausch mit Interessenten aus der Industrie	Vorstellung des Projekts für interessierte Unternehmen	laufend
Personaltransfer	Durchführung von Praktika und Abschlussarbeiten in branchenspezifischen Unternehmen	Studienarbeit „Analyse der Prüfbedingungen zur Charakterisierung des Laufverhaltens von angetriebenen und konventionellen Tragrollen“	17.11.2016 – 21.03.2017
		Diplomarbeit: „Konzeption eines Prüfstands zur Charakterisierung des Laufverhaltens von angetriebenen und konventionellen Tragrollen“	03.04.2017 – 03.10.2017
		Diplomarbeit: „Auslegung und Programmierung einer Steuerung zur Realisierung eines Tragrollenprüfstands“	22.12.2017 – 22.06.2018
		Studienarbeit: „Programmierung der Steuerung eines Prüfstands zur Ermittlung des Laufverhaltens von konventionellen und angetriebenen Tragrollen“	15.11.2018 – 15.05.2019
Gezielte Ansprache potenziell interessierter Unternehmen	Unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft	Vorstellungen der Projektergebnisse bei interessierten Unternehmen	kontinuierlich und auf Anfrage
		Vorstellung der Projekthinhalte bei der Universität Senftenberg	15.08.2017
Tragrollenprüfungen	Erweiterung des Kenntnisstands über angetriebene Tragrollen	Durchführung von Tragrollenprüfung für Anlagenbetreiber und Tragrollenhersteller	laufend

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Publikation der Projektergebnisse im Internet	Informationstransfer und Austausch mit Interessenten aus Industrie und Wissenschaft	Pflege der eingerichteten Projekt-Homepage	kontinuierlich
	Information von Interessenten aus Industrie und Wissenschaft	YouTube-Video: Effizienzsteigerung von Gurtförderanlagen – Prüfstand für angetriebene Tragrollen	kontinuierlich
	Information von Interessenten aus Industrie und Wissenschaft	IPH Pressemitteilungen, IPH-Newsletter, GVB-Newsletter, GVB-Blog: www.logistik.expert	kontinuierlich

Tabelle 3: Geplante Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Wissenschaftliche Publikationen / Dissertation, in Fachzeitschriften oder sonstigen gedruckten Veröffentlichungen	Informationstransfer und Austausch mit Interessenten aus Industrie und Wissenschaft	Veröffentlichung der Projektergebnisse in einer Fachzeitschrift	November 2021
Treffen mit potenziell interessierten Unternehmen	Informationsaustausch und Austausch mit Interessenten aus der Industrie	Vorstellung des Projekts für interessiertem Unternehmen	laufend
Weitergabe von ausführlichen Forschungsberichten	Nationaler Ergebnistransfer	Veröffentlichung Schlussbericht	Sommer 2021
Gezielte Ansprache potenziell interessierter Unternehmen	Unmittelbarer Ergebnistransfer in die Wirtschaft	Vorstellungen der Projektergebnisse bei interessierten Unternehmen	kontinuierlich und auf Anfrage
Tragrollenprüfungen	Erweiterung des Kenntnisstands über angetriebene Tragrollen	Durchführung von Tragrollenprüfung für Anlagenbetreiber und Tragrollenhersteller	auf Anfrage
Publikation der Projektergebnisse im Internet	Informationstransfer und Austausch mit Interessenten aus Industrie und Wissenschaft	Pflege der eingerichteten Projekt-Homepage	kontinuierlich

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
	Information von Interessenten aus Industrie und Wissenschaft	IPH Pressemitteilungen, IPH-Newsletter, GVB-Newsletter, GVB-Blog: www.logistik.expert	kontinuierlich

6. Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Der im Projekt aufgebaute Prüfstand wird durch Prüfaufträge sehr gut ausgelastet. Damit kommen die im Projekt erworbenen Erkenntnisse direkt bei den Herstellern von Tragrollen sowie den Betreibern von Anlagen an. In den ersten 6 Monaten nach Beendigung des Projekts wurden auf dem Prüfstand 27 Prüfungen für externe Unternehmen durchgeführt. Die Ergebnisse der Prüfungen ermöglichen es den Anlagenbauern die Anlagen optimal auszuliegen.

7. Durchführende Forschungsstelle

Das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung, die eng mit der Universität Hannover kooperiert. Die Gesellschafter des IPH, Prof. Behrens, Prof. Overmeyer und Prof. Nyhuis, sind gleichermaßen Inhaber produktionstechnischer Lehrstühle an der Universität Hannover.

Die Gliederung des IPH in die drei Abteilungen „Prozesstechnik“, „Produktionsautomatisierung“ und „Logistik“ spiegelt die Ausrichtung dieser Lehrstühle wider.

Das IPH ist hauptsächlich in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung aktiv und wurde 1988 mit Unterstützung des niedersächsischen Wirtschaftsministeriums gegründet. Das IPH ist besonders der technologischen Förderung mittelständischer Industriebetriebe verpflichtet. Der Technologietransfer aus der Forschung in die Industrie erfolgt dabei hauptsächlich über gemeinsam mit der Industrie durchgeführte, öffentlich geförderte Verbundforschungsprojekte sowie über Fortbildungsseminare und Arbeitskreise für spezielle Zielgruppen aus Industrie und Handel. Darüber hinaus stellt das IPH laufend in einer Vielzahl ausschließlich industriefinanzierter Beratungsprojekte seine Praxisorientierung und Wettbewerbsfähigkeit unter Beweis.

Leiter der Forschungsstelle:

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens
Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Geschäftsführende Gesellschafter des IPH

Dr.-Ing. Malte Stonis

Koordinierender Geschäftsführer des IPH

Projektleiter:

Dipl.-Ing. Ake Kriwall

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Produktionsautomatisierung des IPH

Anschrift:

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH
Hollerithallee 6
30419 Hannover

Telefon: +49 511 27976-0
Telefax: +49 511 27976-888
E-Mail: info@iph-hannover.de
Internet: www.iph-hannover.de

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 19527 N der Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Für die Förderung sei an dieser Stelle gedankt.

Literaturverzeichnis

- [All76] Alles, R.: Zum Zwischenantrieb von Gurtförderern mittels angetriebener Tragrollen und Linearmotoren. Dissertation, Technische Universität Hannover, Hannover 1976.
- [Als03] Alspaugh, M. A.: The Evolution of Intermediate Driven Belt Conveyor Technology. In: Bulk Solids Handling, vol. 23 (2003), no. 3, pp. 168-173.
- [DIN96] DIN 22112-3: Gurtförderer für den Kohlenbergbau unter Tage - Tragrollen - Teil 3: Prüfungen. Beuth Verlag, Berlin 1996.
- [Gee09] Geesmann, F.-O. et. al.: Auslegung von schweren Tragrollen für das Obertrum von Gurtförderanlagen Teil III - Betriebstechnische Auslegung einer Tragrolle. In: AT Mineral Processing, Bauverlag, H. 04-2009, 2009.
- [Gla13] Gladysiewicz, A.: Tragrollenoptimierung zur Effizienzsteigerung von Gurtförderern. In: Fachtagung HdT - Gurtförderer und ihre Elemente. Essen 2013.
- [Hof14] Hoffmann, D.: Hochleistungsbandanlage. Offenlegungsschrift DE 10 2013 204 244 A1, B65G 23/32 (2006.01), Veröffentlichungsdatum: 18.09.2014.
- [Hom11] Hompel, M. ten; Nettsträter, A.; Feldhorst, S.; Schier, A.: Engineering von modularen Förderanlagen im Internet der Dinge. In: at - Automatisierungstechnik, Vol. 59 (2011), No. 4, pp. 248-256. DOI: 10.1524/auto.2011.0917.
- [Zil12] Ziller, T. J.: Schüttgutförderer. Offenlegungsschrift DE 10 2012 102 945 A1, B65G 13/02 (2006.01), Veröffentlichungsdatum: 18.10.2012.