

Messsystem zur Bestimmung von Tragrollenausrichtungen an einer gemuldeten Gurtförderanlage

Measuring system for determining idler alignment on a troughed belt conveyor system

Lisa Wonner
Hendrik Otto
André Katterfeld

Lehrstuhl Förder- und Materialflusstechnik
Institut für Logistik und Materialflusstechnik (ILM)
Fakultät für Maschinenbau (FMB)
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gurtschieflauf ist eine der Hauptursachen für die Begrenzung der Effizienz von Gurtfördersystemen. Eine Ursache von Gurtschieflauf ist die Fehlausrichtung von Tragrollenstationen. An langen Anlagen werden jedoch mehrere hundert bis tausend Tragrollen verbaut. Die Überprüfung jeder einzelnen Station per Hand ist somit mit einem unverhältnismäßig großen Zeitaufwand verbunden. Das hier vorgestellte Messsystem ermöglicht die messtechnische Ermittlung der Tragrollenausrichtung.

[Schlüsselwörter: Gurtförderer, Gurtschieflauf, Tragrollen, Messsystem]

Belt mistracking is one of the main causes limiting the efficiency of belt conveyor systems. One cause of belt mistracking is the misalignment of idler stations. On long systems, several hundreds to a thousand idlers are installed. Checking each individual station by hand requires a lot of time. The measuring system presented here enables the alignment of idlers to be determined by measurement.

[Keywords: Belt conveyor, belt mistracking, idlers, measuring system]

1 MOTIVATION

Gurtschieflauf ist eine der Hauptursachen für die Begrenzung der Effizienz von Gurtfördersystemen. Gurtschieflauf bezeichnet eine Bewegung des Fördergurts senkrecht zur Förderrichtung. Eine Möglichkeit Gurtschieflauf zu verhindern, ist die exakte Ausrichtung von Tragrollenstationen. Die Überprüfung jeder einzelnen Station per

Hand ist mit einem unverhältnismäßig großen Zeitaufwand verbunden und wird in der Praxis nicht durchgeführt. Stattdessen werden zur Zentrierung Lenkeinrichtungen eingesetzt und auf Grundlage langjähriger Erfahrung von Mitarbeitern oder nach dem Prinzip „Trial-and-Error“ einzelne Tragrollen verstellt. Das hier vorgestellte Messsystem ermöglicht die messtechnische Ermittlung von Tragrollen(Fehl)ausrichtungen und damit eine Bekämpfung der Ursache von Gurtschieflauf. Es wurde unter der Nummer DE 10 2019 126 060 B4 patentiert. Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse wurden durch Versuche an der 15m langen Gurtförderer-Versuchsanlage des Lehrstuhls für Förder- und Materialflusstechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg ermittelt.

2 LENKWIRKUNG VON TRAGROLLEN

Tragrollen sind ein wichtiger Bestandteil einer Gurtförderanlage. Sie stützen den Gurt und leiten ihn. Tragrollen fördern den Gurt dabei immer in Normalen-Richtung zur Drehachse der Tragrolle.

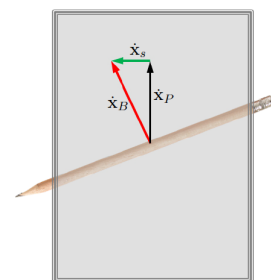


Abbildung 1. Einfaches Schieflaufmodell aus einem Buch, das über einen Stift abrollt

Stimmen die Förderrichtung und die Tragrollennormale nicht überein kommt es zu einer Lenkung des Fördergurtes. Der Lenkeffekt ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Im Folgenden werden die wichtigsten Abweichungen von standardmäßigen Tragrollenstellung vorgestellt.

2.1 STURZ

Beim auf Sturz stellen handelt es sich um eine Drehung der Tragrollenstation um die Querachse (Abbildung 2). In der Praxis wird jedoch nicht die ganze Tragrollenstation gekippt, sondern nur die äußeren Tragrollen am äußeren Lagerpunkt verstellt. Die äußeren Tragrollen stehen damit nicht mehr senkrecht zum Gurt, was zu einer Lenkwirkung führt. Die seitlichen Tragrollen stehen damit in Laufrichtung (positiver Sturzwinkel) oder entgegengesetzte der Laufrichtung gekippt (negativer Sturzwinkel). Positive Sturzwinkel haben einen Zentrierungseffekt während negative Sturzwinkel eine destabilisierende Wirkung auf den Gurtlauf haben. Für eine Zentrierung werden Winkel von 1° bis 3° verwendet [2]. Versuche an der Gurtförderer-Versuchsanlage zeigen, dass der Zentrierungseffekt relativ gering ist [3]. In Anlagen werden daher zur Zentrierung immer mehrere Tragrollen auf Sturz gestellt.

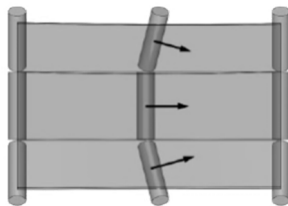


Abbildung 2. Sturzstellung der mittleren Tragrolle

2.2 VERDREHUNG UM DIE VERTIKALACHSE

Bei der Drehung um die Vertikale wird die Tragrollenstation auf einer Seite in Förderrichtung verschoben (Abbildung 3). Alle Tragrollen stehen damit nicht mehr rechtwinklig zur Förderrichtung. Diese Drehung hatte in Versuchen an der Gurtförderanlage [3] die größte Lenkwirkung. Hier ist eine korrekte Ausrichtung entscheidend für den Gurtlauf. Diese Art der Tragrollenstellung wird auch genutzt, um einen schief laufenden Gurt wieder in Richtung Mitte zu leiten.

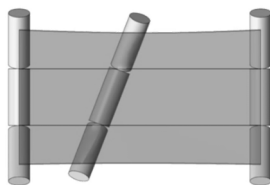


Abbildung 3. Drehung der mittleren Tragrollenstation um die Vertikalachse

2.3 DREHUNG UM DIE FÖRDERACHSE

Die Drehung um die Förderachse hat keinen direkten Lenkeffekt, da alle Tragrollen noch orthogonal zur Förderrichtung stehen. Diese Art der Verstellung wird eingesetzt um Fördergurte in Kurven zu führen [4] und dient dazu, dass der Gurt nicht aus der Kurve rutscht. Dabei wird eine Seitentragrolle an den Gurt gepresst und die andere abgesenkt (Abbildung 4). Damit kommt es bei der erhöhten Tragrolle zu einer erhöhten Normallast die verbunden mit Sturz oder einer Drehung um die Vertikale zu einem großen Lenkeffekt führt [5].

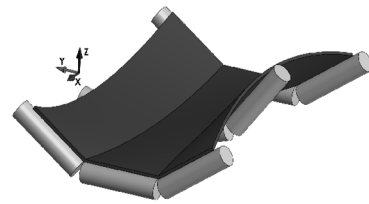


Abbildung 4. Drehung der mittleren Tragrollenstation um die Förderachse

3 FUNKTIONSPRINZIP DES MESSSYSTEMS

Für ein ersten Prototypen des Messsystems wurde sich auf die Identifizierung von Sturz und einer Drehung um die Vertikalachse beschränkt. Das Sturzstellen sowie die Drehung um die Vertikalachse führt dazu, dass die Tragrollen nicht mehr alle orthogonal zur Förderrichtung stehen. Bringt man eine Reihe von Sensoren auf den Fördergurt auf, welche senkrecht zur Förderrichtung angeordnet sind, ergibt sich bei einer Überfahrt über die Tragrolle ein charakteristisches Signal. Ist eine Tragrolle korrekt ausgerichtet, so registrieren die Sensoren die Tragrollen gleichzeitig. Ist die Tragrolle verdreht oder steht diese auf Sturz, kommt es zu einer zeitlichen Verzögerung der Registrierung, wie in Abbildung 5 dargestellt.

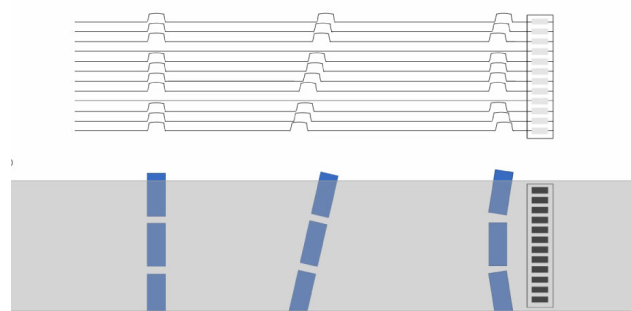


Abbildung 5. Charakteristisches Signal zu Erkennung der Tragrollenstellung mit dem Messsystem

4 VORSTELLUNG DES MESSSYSTEMS

4.1 AUFBAU DER MESSMATTE

Zur Erkennung der Tragrollen werden Taster (Abbildung 6) verwendet. Diese werden an der Unterseite des Obertrums angebracht. Sie schließen sich im Kontaktbereich zwischen Tragrolle und Gurt. Der Zustand des Sensors (offen = 0; geschlossen = 1) wird als Messwert gespeichert. Die Sensoren und die Messmatte auf der die Sensoren aufgebracht sind, müssen flach und biegsam sein, um das Umlaufen um die Trommeln zu ermöglichen, ohne Beschädigungen an den Sensoren oder der Anlage zu verursachen.

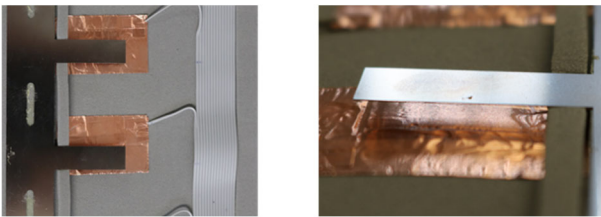


Abbildung 6. Links: Draufsicht Messmatte; rechts: Ansicht eines Tasters

Zwölf solcher Taster werden im gleichmäßigen Abstand auf einer Trägermatte aus Moosgummi angeordnet. Die Matte ermöglicht ein einfacheres Ausrichten auf dem Gurt. Zum Schutz vor Verschmutzung und Verschleiß wird die Matte mit ihren Tastern in einer PVC Folie gekapselt. Die Messmatte wird für die Messung lösbar auf den Gurt geklebt.

4.2 DIE AUSWERTUNGSEINHEIT

Ein Mikrocontroller fragt den Zustand der Taster ab und speichert das Ergebnis mit einem Zeitstempel auf einem Speichermedium (SD-Karte). Zur Energieversorgung dient ein LiPo-Akku. Als Mikrocontroller wurde zunächst ein Raspberry Zero verwendet, mit dem eine Datenrate von 1,2 kHz realisiert werden konnte. Für die hier vorgestellten ersten Versuche an der Gurtförderanlage der Uni Magdeburg mit einer Fördergeschwindigkeit von 0,45 m/s war dies ausreichend.

Die Auswertungseinheit muss am Fördergurt mitgeführt werden. Fördergurte können abhängig vom Einsatzgebiet und Ausführung sehr unterschiedliche Stärken haben. Textile Fördergurte, wie sie an der Gurtförderanlage genutzt werden, haben häufig eine Stärke von unter 10 mm, während Stahlseilfördergurte deutlich dicker sind. Im Fall der Gurtförderanlage müssen die Elektronikkomponenten am 8 mm starken Gurt mitgeführt werden. Die Auswertungseinheit ist damit deutlich dicker als die Gurtkante. Die Auswertereinheit muss so konzipiert sein, dass sie sowohl die Tragrollen als auch die Trommel beschädigungsfrei überlaufen kann.

5 MESSUNGEN

Erste Messungen wurden am Rückförderer der Gurtförderer-Versuchsanlage der Uni Magdeburg (Abbildung 7) durchgeführt. Diese hat ein Achsabstand von ca. 15 m. Die Tragrollen im Obertrum weisen einen Abstand von 0.5 m auf. Insgesamt sind 27 Tragrollenstationen im Obertrum vorhanden, die das Messsystem erkennen soll.

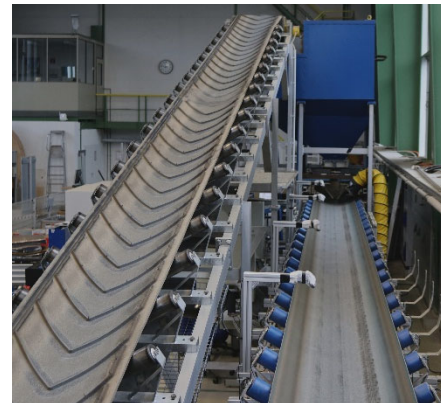


Abbildung 7. Gurtförderer-Versuchsanlage an der Uni Magdeburg

Nach der Erfassung der Messwerte werden diese mit Hilfe von MatLab ausgewertet. Die Messwerte bilden dabei eine 0/1 Matrix, wobei eine eins für das Erkennen eines Kontaktes bzw. das Erkennen einer Tragrolle steht. Die Positionsbestimmung erfolgt mithilfe der Position von steigenden und fallenden Flanken in MatLab. Die Erkennung von Tragrollenstationen erfolgt bei einem erkannten Kontaktbereich von 1/3 der Kontaktfläche des Tasters. Eine Trommel wird erkannt, wenn der Bereich zwischen einer steigenden und einer fallenden Flanke größer als 250 mm ist.

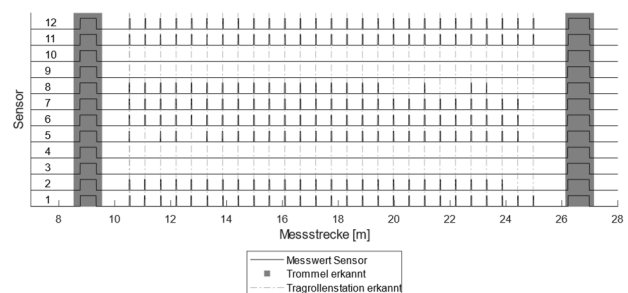


Abbildung 8. Messwerte der Sensormatte bei einer Messung im Obertrum, Messwertverläufe der einzelnen Sensoren über die Messstrecke, mit Kennzeichnung der erkannten Tragrollen- und Trommelpositionen bei 3-teiligen Tragrollenstationen

In Abbildung 8 sind die Messwerte der 12 Sensoren einer Messung im Obertrum dargestellt. Bei ca. 9 m erkennen alle Sensoren einen relativ langen Kontaktbereich. Es handelt sich dabei um die Spanntrommel. Gleiches gilt für die Antriebstrommel bei 27 m. Die Bereiche der Trommeln

sind grau markiert. In dem Bereich dazwischen befinden sich die Tragrollenstationen des Obertrums. Sobald mehrere Sensoren einen ausreichend langen Kontakt registrieren, wird aus der mittleren Position der Kontakte die Position der Tragrollenstation berechnet.

Der Fördergurt hat nicht über der gesamten Breite Kontakt zu den Tragrollen. Dies ist an den Sensoren 3,4,9 und 10 zu erkennen, die keine Tragrollen erkannt haben. Das sind die Bereiche zwischen der mittleren und den seitlichen Tragrollen. Für Messungen werden Tragrollenstationen gezielt verstellt. Dies geschieht durch Umhängen der Seitentrugrollen innerhalb der Station. So kann eine Drehung um die Vertikalachse sowie Sturz erzeugt werden.

5.1 ERKENNUNG VON FEHLSTELLUNGEN

Für Messungen wurden Tragrollenstationen gezielt verstellt. Bei einer Drehung um die vertikale Achse ist es möglich durch die erkannten Kontakte mittels Linearregression eine Gerade zu legen. Der Winkel der Schrägstellung kann mit Hilfe des Anstiegs berechnet werden (Abbildung 9). Mit Hilfe des Korrelationsfaktor kann das Maß der Linearität geprüft werden. Um eine Drehung um die vertikale Achse zu identifizieren, muss ein bestimmter Korrelationsfaktor erreicht werden

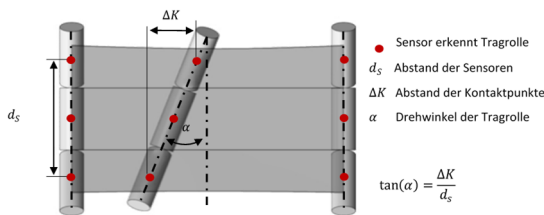


Abbildung 9. Berechnung des Verdrehwinkels einer Tragrollenstation um die vertikale Achse

Für die Erkennung von Sturz prüft der Auswertungscode an welcher Position sich die Kontaktpunkte der seitlichen Tragrollen im Vergleich zur mittleren Tragrolle befinden (Abbildung 10). Ein positiver Sturzwinkel liegt vor, wenn die mittlere Tragrolle vor den seitlichen Tragrollen erkannt wird. Ein negativer Sturz liegt vor, wenn die mittlere Tragrolle nach den seitlichen Tragrollen erkannt wird.

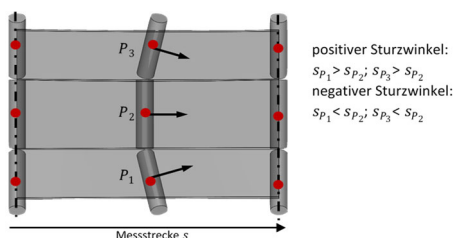


Abbildung 10. Erkennung von Sturz durch versetzte Erkennung der seitlichen und mittleren Tragrollen

5.2 MESSERGEBNISSE VERTIKALE DREHUNG

Für die in Abbildung 11 dargestellten Werte wurde die Tragrollenstation wie abgebildet verstellt und während 8 Umläufen gemessen. An dem Förderer war es nicht möglich den gesamten Tragrollenstuhl zu verdrehen. Aus diesem Grund wurden nur die seitlichen Tragrollen verstellt, die mittlere Tragrolle ist daher weiterhin senkrecht zur Förderrichtung ausgerichtet. Der sich hieraus ergebende Verdrehwinkel der Tragrollenstation liegt bei ca. 2°.

Für 8 Umläufe wurden jeweils die Kontaktpunkte der mittleren Tragrolle auf Null gesetzt, um die Messungen vergleichen zu können. Trotz der Streuung der erkannten Kontakte für die äußeren Tragrollen ist deutlich zu erkennen, dass diese im Gegensatz zur Mitteltragrolle nicht senkrecht zur Förderachse stehen. Durch lineare Regression konnte im Mittel ein Verstellungswinkel von 2,35 Grad berechnet werden. Die Versuche zeigen, dass die Erkennung der Drehung um die Vertikalachse mit dem System in ausreichender Genauigkeit möglich ist.

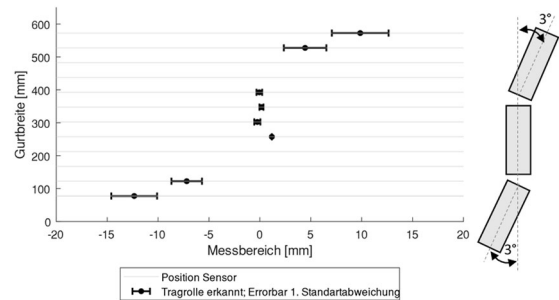


Abbildung 11. Links: Erkannte mittlere Kontaktpunkte und Bereich der 1. Standardabweichung einer um die vertikale Achse verdrehten Tragrollenstation für 8 Umläufe, die mittlere Tragrolle wurde als relativer Nullpunkt gewählt. Rechts: verstellte Tragrollen am Förderer.

5.2.1 MESSERGEBNISSE ZUR STURZSTELLUNG

Für die in Abbildung 12 dargestellten Werte wurde die Tragrollenstation auf positiven Sturz gestellt und während 8 Umläufen gemessen. Bei den 8 Detektionen der Tragrolle wurden jeweils die Kontaktpunkte der mittleren Tragrolle auf Null gesetzt um die 8 Messungen vergleichen zu können. Es ist deutlich zu erkennen, dass die äußeren Tragrollen erst nach der Mitteltragrolle erkannt wurden. Im Durchschnitt wurde ein Abstand zwischen äußeren Tragrollen und mittlerer Tragrolle von 9,04 mm gemessen. Dieser unterliegt einer Standardabweichung von 0,97 mm. Die äußeren Tragrollen wurden am äußeren Lagerpunkt 13 mm verschoben, was einem Sturzwinkel von 3° entspricht. Der Auswertungscode konnte in den Versuchen alle auf Sturz gestellten Tragrollenstationen identifizieren.

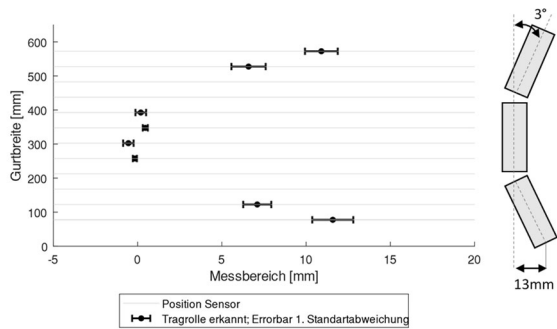


Abbildung 12. *Erkannte mittlere Kontaktpunkte und Bereich der 1. Standardabweichung einer Tragrollenstation mit positivem Sturz*

6 WEITERE ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Weitere Versuche zeigten, dass es auch möglich ist, die Tragrollenstationen zu erkennen, die um die Förderachse verdreht sind. Durch die Drehung um die Förderachse wird eine Seite der Tragrollenstation angehoben. Während der Anstellwinkel des Gurtes auf der Tragrolle an den Seitenträgrollen im Normalfall dem Muldungswinkel der Tragrollenstation sehr nahe kommt, entsteht an der erhöhten Seite der Tragrolle, auch ein erhöhter Anstellwinkel. Auf der anderen Seite wird der Fördergurt durch die abgesenkte Tragrolle nicht mehr in die Muldung gezwungen. Der Anstellwinkel des Gurtes im Bereich dieser Tragrolle sollte sich, abhängig vom Tragrollenabstand durch den Gurtdurchhang verringern. Bei einer ausreichend großen Drehung kann die abgesenkte Seitenträgrolle auch vollständig den Kontakt zum Fördergurt verlieren.

Für Versuche wurde ein Sensor an die Gurtkante angebracht. In Abbildung 13 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. ist zu erkennen, dass die Gurtkante jedoch nicht an der Tragrolle anliegt, sondern hochsteht. Es ist somit zu erwarten, dass der mit dem Sensormodul gemessene Winkel größer ist als der Muldungswinkel.

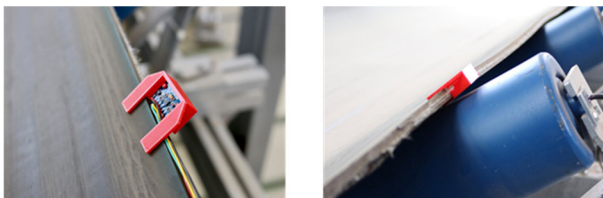


Abbildung 13. *Links: Beschleunigungssensor an der Gurtkante; rechts: die Gurtkante liegt nicht an der Tragrolle an, damit entspricht der Anstellwinkel des Gurtes nicht direkt dem Muldungswinkel der Tragrollenstation.*

In Abbildung 14 ist der Messverlauf des Anstellwinkels dargestellt, dieser beträgt im Mittel 45° . An den Tragrollenstationen 8 bis 10 ist der gemessenen Winkel mit über 50° deutlich überhöht. Die Tragrollenstation 9 bei

6,5m wurde für den Versuch 10° um die Förderachse gedreht und ist verantwortlich für den erhöhten Anstellwinkel. Die abgesenkte Tragrollenstation verliert bei einer 10° Drehung den Kontakt zum Gurt gänzlich. Eine zuverlässige Erkennung der einzelnen Tragrollenstation ist jedoch auf diese Weise schwierig, da sich die Drehung um die Förderachse auch auf die Vorgänger- und Nachfolger-Station auswirkt. Hier konnte ebenfalls ein erhöhter Anstellwinkel gemessen werden. Zudem sind die Messwerte nur nutzbar, wenn die Eigenschwingung des Gurtes gering ist.

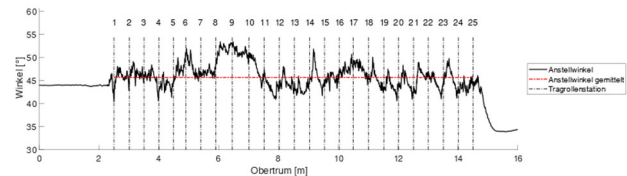


Abbildung 14. *Anstellwinkel des Gurtes gemessen mit einem GY9250, bei einer 10° Drehung der Tragrollenstation 9*

7 AUSBLICK

Die Versuche zeigen, dass mit Hilfe des vorgestellten Messsystems die Erkennung von Verdrehungen von Tragrollen um die Vertikalachse sowie die Detektion von Sturz möglich ist. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit ist stark abhängig vom Weg, der zwischen zwei Messzyklen zurückgelegt wird. Für Versuche an Industrieanlagen wird abhängig von der Fördergeschwindigkeit eine Erfassungsrate von mindestens 5 kHz benötigt. Dies würde eine ausreichend genaue Messung bei 5 m/s ermöglichen. Zur Erhöhung der Erfassungsrate wird der Prototyp gerade mit einem Microcontroller vom Typ Nucleo-L432KC ausgerüstet.

Perspektivisch kann das Messsystem zum Anlagenmonitoring sowie zur Feststellung von fehlerhaft ausgerichteten Tragrollenstationen verwendet werden. Möglich ist auch die Ausmessung der Anlage und die Erstellung eines digitalen Abbildes der Förderanlage. Die Informationen der Tragrollenausrichtungen können zur Korrektur von Tragrollenfehlstellungen verwendet werden und dienen damit der Reduktion von Gurtschieflauf. Damit können Ausfallzeiten gemindert, die Produktivität gesteigert und Kosten reduziert werden.

LITERATUR

- [1] OTTO, H.: *Analyse und Simulation des Gurtschieflaufs an Gurtförderanlagen*. Magdeburg, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Dissertation. 2019
- [2] PAJER, J. (Hrsg.); KUHNT, H. (Hrsg.); KURTH, F. (Hrsg.): *Stetigförderer*. 5., stark bearb. Aufl. Berlin : Verl. Technik, 1988 (Fördertechnik)
- [3] OTTO, H. ; WONNER, L. ; KATTERFELD, A.: *Experimentelle Analyse des Lenkverhaltens von Tragrollen in Gurtförderanlagen bei Gurtschieflauf*. Logistics Journal: Proceesings, Vol, 2018
- [4] DUNLOP: *Conveyor Belt Technique : Design and Calculation*. URL <https://www.slideshare.net/palah1/5-belt-conveyor-design-dunlop> – Überprüfungsdatum 2019-08-20
- [5] OTTO, H. ; WONNER, L. ; KATTERFELD, A.: Untersuchung des Gurtschieflaufs an verdrehten Tragrollenstationen. In: Technische Universität München (Hrsg.): *Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2018 am 19. und 20. September 2018 in Garching*. München, 2018, S. 155-169

M.Sc Lisa Wonner, Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Dr.-Ing Hendrik Otto, IBAF-Institut für Baumaschinen, Antriebs- und Fördertechnik GmbH, Magdeburg.

Prof. Dr.-Ing André Katterfeld, Lehrstuhlleiter Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Adresse: Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik, Institut für Logistik und Materialflusstechnik (ILM), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Deutschland, Tel: +49 (0) 391/67-52245, E-Mail: lisa.wonner@ovgu.de