

Experimentelle Analyse des Lenkverhaltens von Tragrollen in Gurtförderanlagen bei Gurtschieflauf

Experimental analysis of steering behaviour of idlers in belt conveyor systems during belt mistracking

Hendrik Otto
Lisa Wonner
Andre Katterfeld

Lehrstuhl für Fördertechnik
Fakultät für Maschinenbau
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gurtschieflauf ist einer der Hauptursachen für die Begrenzung der Effizienz von Gurtfördersystemen. Die Ursachen für Schieflauf sind vielfältig und es gibt wenige Untersuchungen, die die grundlegenden Mechanismen erklären. Die typische Gegenmaßnahme besteht darin den Fördergurt durch Drehung von Tragrollenstationen in die entgegengesetzte Richtung zu lenken. Diese Methoden basieren eher auf empirischen Erfahrungen als auf mathematischen Methoden. Simulationsverfahren zur Vorhersage der Fehlaustrichtung des Förderbandes waren in der Vergangenheit aufgrund der Größe eines Bandförderers und seiner nichtlinearen Verformung, bei der eine große Anzahl von Kontaktproblemen auftritt, begrenzt. In den hier vorgestellten Untersuchungen wurden die Wirkung von gedrehten Tragrollenstationen und ihre Position auf die seitliche Bewegung des Förderbandes untersucht. Die Experimente dienen der Generierung eines quantitativen Verständnisses zur Erstellung eines Simulationsmodells, dass hier kurz erläutert wird.

[Schlüsselwörter: Bandförderer, Gurtschieflauf, Simulation, Messungen, Bandschieflaufüberwachung]

Mistracking of the conveyor belt is one of the leading causes for the limitation in efficiency of belt conveying systems. There are numerous causes of conveyor belt mistracking, however, there is little published literature explaining the fundamental mechanics behind the problem. The typical method used to counteract conveyor belt mistracking is by turning idler stations to effectively move the conveyor belt in the opposite direction. These methods are based on the empirical experience of plant operators rather than a calculated methodology. Simulation methods to predict the conveyor belt mistracking have been limited in the past due to the size of a belt conveyor and its nonlinear deformation, where a high number of contact problems result. This paper presents findings which analyse the effect of turned idler stations and their position in relation to the lateral movement of the

belt conveyor. Experiments were carried out to generate a quantitative understanding of belt mistracking, where, a simulation model is proposed and briefly explained.

[Keywords: Belt Conveyor, Mistracking, Simulation, Measurements, Belt Training]

1 EINLEITUNG

Gurtschieflauf in Gurtbandförderanlagen hat vielfältige Ursachen wie Fertigungstoleranzen der Anlage, Seitenwind oder exzentrische Schüttgutbeladung. Die Ursachen treten meist in Kombination auf, wodurch die Ursachenerkennung und Beseitigung erschwert wird. Der Gurt wird daher durch Sturzstellen oder Verdrehen von Tragrollen und Tragrollenstationen zentriert. In Folge einer Verdrehung stehen der Vektor der Tragrollennormalen in Förderrichtung und der, der Gurtgeschwindigkeit in einem Winkel zu einander. Der Gurt wird so in Richtung der Tragrollennormalen bewegt, ohne seitlich über die Tragrolle zu rutschen. Die Größe der Lenkwirkung oder die Bereich des Gurtes, der von der Lenkwirkung beeinflusst wird, ist dabei nicht bekannt. Daraus folgend kann auch der Ort, an dem eine Gegenmaßnahme in eine Anlage eingebracht werden sollte, nur durch Erfahrung von Mitarbeitern festgelegt werden und baut dabei nicht auf wissenschaftlichen Erkenntnissen auf.

In den hier vorgestellten Untersuchungen wird der Lenkeinfluss von Tragrollenausrichtungen, Verdrehungen und Sturzstellen an einer gemuldeten Gurtförderversuchsanlage an der Universität Magdeburg analysiert. Dabei wird eine Störung erzeugt und die seitliche Position des Gurtes an sechs Positionen optisch erfasst. Es werden so Verschiebungen des gesamten Gurtes sowie die entstehenden Gurtverformungen gemessen und ausgewertet.

2 AUFBAU DES VERSUCHSSTANDS

Bei dem Versuchsstand handelt es sich um einen unbeladenen Gurtförderer mit einem Achsabstand von ca. 15 m und einem Textilgurt mit einer Gurtbreite von 650 mm. Es wird ein EP 400/3 verwendet.



Abbildung 1: Versuchsanlage in der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg

Im Obertrum befinden sich gemuldete Tragrollenstationen mit einem Muldungswinkel von 30° in einem Abstand von 500 mm. Der Abstand der Untertrum Tragrollen beträgt 1,5 m. Die Antriebstrommel ist ballig ausgeführt, um selbstzentrierend auf den Gurtlauf zu wirken. An der Antriebstrommel wird die Leistung aufgenommen. Mit Hilfe von zwei Kraftmessdosen, wird die Vorspannkraft des Gurtes an den Lagern der Spanntrommel gemessen. Ein Inkrementalgeber ermöglicht die Bestimmung der zurück gelegten Distanz und Geschwindigkeit des Gurtes. Für Experimente zu Gurtschieflauf ist es nötig die laterale Position des Gurtes zu erfassen. Dies wird mit einem Laser, der die Position an der Antriebstrommel erfasst, sowie 5 Kameras ermöglicht. Die Kameras sind über den Obertrumtragrollen angebracht. Über den Kontrast des schwarzen Gurtes und den blauen Tragrollen wird hier die Gurtkante erkannt und die Lage der Mitte des Fördergurtes berechnet.

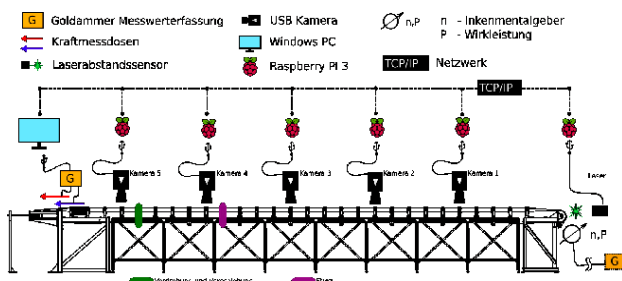


Abbildung 2. Aufbau des Versuchssystems mit Angabe der Sensoren sowie der zentralen Messwertfassung der zentralen Bilddatenverarbeitung.

3 VORBETRACHTUNGEN

Um die Vergleichbarkeit der Messungen untereinander gewährleisten zu können, wurden zunächst die Einflüsse durch Vorspannung und Gurtgeschwindigkeit untersucht. Für die Variation der Geschwindigkeit ist keine Veränderung des Verhaltens vorstellbar ist, solange die auftretenden Fliehkräfte klein in Relation zur Gewichtskraft sind. Eine erhöhte Vorspannung sollte zu einer Spannungsversteifung führen, die die Verformung des Gurtes limitiert. Daher ist anzunehmen, dass die Spannung des Fördergurtes einen deutlichen Einfluss auf die seitliche Position des Gurtes hat.

Die Spannung im Fördergurt ändert sich über der Länge des Gurtes und kann auch durch Temperatureinflüsse signifikant verändert werden. Zur Überprüfung des Einflusses wird Gurtschieflauf durch die vertikale Drehung einer Tragrollenstation erzeugt. Unter verschiedenen Gurtspannungen führt eine 10° Drehung der in Abbildung 2 dargestellten Tragrolle hier zu den in Abbildung 3 gezeigten Auslenkungen. Bei steigender Gurtspannung nimmt die Auslenkung des Gurtes ab. Die Abhängigkeit der Lenkwirkung von der Vorspannung degressiv, so dass sich bei ausreichend großen Vorspannung die Auslenkung nur noch geringfügig verändert.

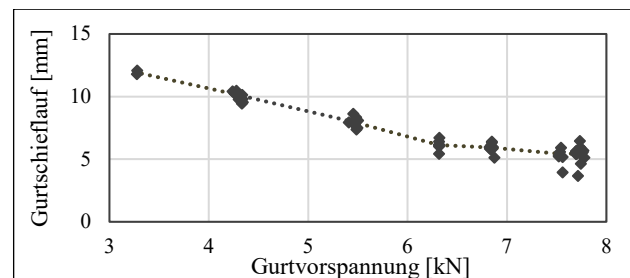


Abbildung 3. Auslenkung des Fördergurtes bei Variation der Vorspannung bei konstanter Geschwindigkeit durch konstante Drehung einer Tragrollenstation

Dieser Zusammenhang gibt auch Hinweise darauf, dass die gleiche Störgröße zu unterschiedlichen seitlichen Verschiebungen des Gurtes führt, je nachdem, wo sie auftritt. Eine Störgröße vor der Kopfstrommel wird demnach geringeren Schieflauf verursachen, als bei der Materialaufgabe. Daher ist es besonders wichtig bei der Materialaufgabe Gurtschieflaufursachen zu vermeiden [1].

Der Versuchsförderer in Magdeburg wird mit Gurtgeschwindigkeiten in einem Bereich von 0,46 m/s bis 1 m/s betrieben. Um den Einfluss der Geschwindigkeit zu überprüfen, wurde eine Tragrollenstation bei veränderlichen Geschwindigkeiten vertikal um 10° gedreht. Die Vorspannkraft wurde dabei möglichst konstant gehalten. Die Variation der Geschwindigkeit führte immer zu gleichen Auslenkungen, wie in Abbildung 3 zu erkennen ist.

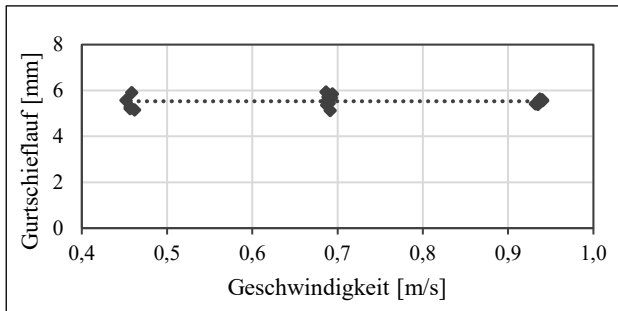


Abbildung 4. Auslenkung des Fördergurtes bei Variation der Geschwindigkeit unter konstanter Vorspannung durch 10° Drehung einer Tragrollenstation

Die Geschwindigkeit hat damit keinen Einfluss auf die Auslenkung des Fördergurtes. Diese Ergebnisse werden von Kobayashi an Flachriemen [2] bestätigt

4 VERDREHUNG UM DIE VERTIKALACHSE

Durch die Verdrehung einer Tragrollenstation um die z-Achse stehen die Tragrollen nicht mehr senkrecht zur Laufrichtung (Abbildung 5). Da die Tragrollen den Gurt jedoch immer in Richtung der Rollennormale fördern, wird angenommen, dass sich der Gurt bei der Verdrehung einer Tragrollenstation dementsprechend auslenkt. Eine Tragrollenstation wurde hierzu wie in Abbildung 5 dargestellt, in Stufen von je 2° von 0 bis 10° verdreht. Die Verdrehung erfolgt dabei nicht um die Mittelachse, sondern um eine Verschraubung, da eine Verstellung um die Mittelachse bei der Verstellung von Tragrollen nur selten angewandt wird.

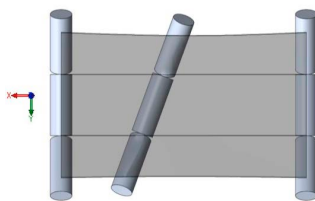


Abbildung 5. Verdrehung einer Tragrollenstation um die Vertikalachse

In Abbildung 6 ist die Veränderung der Gurtlage in Abhängigkeit des Verdrehwinkels an den einzelnen Messstellen dargestellt. Mit zunehmender Drehung der Tragrollenstation nähert sich der Gurt asymptotisch einer maximalen Auslenkung an. Während bei der Verdrehung von 2° eine deutliche Änderung der Gurtlage erkennbar ist, verändert sich diese ab 6° nicht mehr wesentlich.

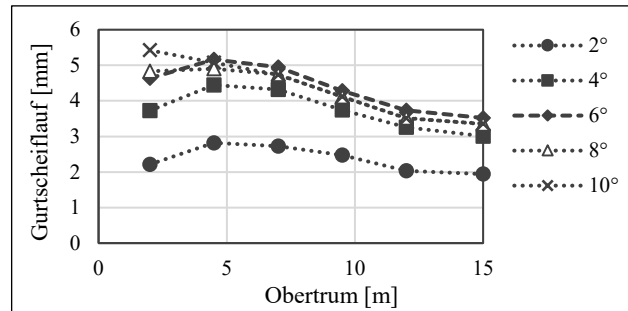


Abbildung 6. Auslenkung des Fördergurtes über die Länge des Fördersystems durch die Vertikale Drehung einer Tragrollenstation

Bei einer Verdrehung um 6° war zudem ein leises Quietschen hörbar, welches sich bei einer weiteren Verdrehung deutlich verstärkte. Da der Gleitreibwert üblicherweise geringer als der Haftreibwert ist, ist davon auszugehen, dass die maximal mögliche Kraft so nicht mehr erreicht werden kann. Durch die geminderte Gleitreibung hat die schräggestellte Tragrolle weniger Lenkeinfluss, was im Vergleich der Verschiebungen in Abbildung 5 zwischen 6° und 8° bzw. 10° zu erkennen ist. Trotz Erhöhung des Winkels ist die Verschiebung des Gurtes geringer als bei 6° Schrägstellung der Tragrolle. Das Quietschen entsteht dabei in diesem Fall wahrscheinlich durch Stick-Slip und das Überschreiten der lokalen Grenzkraft, die zu einer elastischen Verformung des Gurtes in der Kontaktstelle führen. Es sind jedoch auch andere Modelle zur Erklärung solcher hochfrequenten Geräusche möglich, da insbesondere die geringen Gurtsteifigkeiten hier für deutlich niedrigere Frequenzen sprechen würden [3].

Verallgemeinert kann festgestellt werden, dass die Verdrehung einer Tragrollenstation einen Lenkeinfluss auf den Gurt ausübt, der jedoch mit zunehmender Verdrehung wieder abnimmt. Der degressive Verlauf ist mit der Überschreitung der maximalen Haftreibungskraft zu erklären.

5 SEITLICHE VERSCHIEBUNG

Bei einer seitlichen Verschiebung einer Tragrollenstation in y-Richtung, wie in Abbildung 7 dargestellt, steht die Station nicht in Flucht mit den übrigen Stationen. Der Vektor der Rollennormalen und der der Gurtgeschwindigkeit zeigen jedoch weiter hin in die gleiche Richtung. Lenkwirkungen können somit nur als Folge von Selbstzentrierungseffekten durch die Eigenmasse des Gurtes und die gemuldeten Tragrollenstationen erwartet werden.

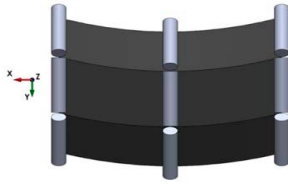


Abbildung 7. Seitliche Verschiebung einer Tragrollenstation

Für die Überprüfung des Einflusses einer seitlichen Verschiebung wurde eine Tragrollenstation um 10 - 60 mm verschoben. Wie in Abbildung 8 erkennbar ist, wurde der Fördergurt bei einer Verschiebung der Tragrollenstation in positive y-Richtung ausgelenkt. Dabei wird der Gurt weniger verschoben, als die Tragrolle. Dies führt dazu, dass die Tragrolle unter dem Gurt hindurch geschoben wird. Der Gurt liegt damit deutlich mehr auf der Seitentragrolle auf. Dadurch liegt er in vertikaler Richtung höher auf, als an den anderen Tragrollenstationen.

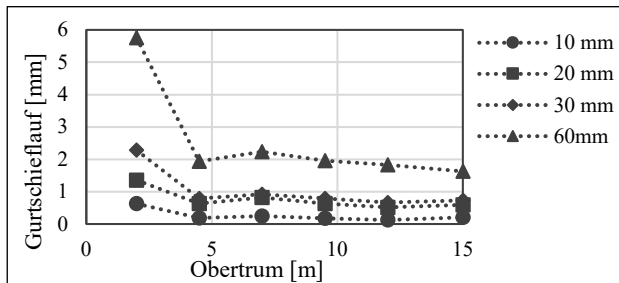


Abbildung 8. Auslenkung des Fördergurtes über die Länge des Fördersystems durch seitliche Verschiebung einer Tragrollenstation

Die verschobene Tragrollenstation befindet sich in dieser Messung unmittelbar hinter der ersten Messstelle. Der Gurt wird hier von der Tragrolle, über der sich der Sensor zur Erkennung der Gurtkante befindet, abgehoben. Hierbei entsteht ein Paralaxenfehler wodurch die erhöhten Werte an der ersten Messstelle zu erklären sind.

Wiederholungen der Messungen haben gezeigt, dass der Lenkeinfluss der verschobenen Tragrolle zusätzlich stark von weiteren Fehlansrichtungen an derselben Tragrolle beeinflusst wird. Da die vertikale Auflast auf die Tragrolle steigt, wenn diese verschoben wird, steigt die Lenkwirkung bei Sturz und Verdrehung der Tragrolle stärker als durch die Verschiebung der Station.

Es ist somit fraglich ob die erzeugte Lenkwirkung auf die Verschiebung der Tragrollenstation zurückgeführt werden kann oder mit anderen Fehlansrichtungen zusammenhängt. Es kann jedoch festgehalten werden, dass die seitliche Verschiebung einer Tragrollenstation nur zu sehr geringen Lenkeinflüssen des Fördergurtes führt.

6 STURZ

Beim Sturzstellen von Tragrollenstationen handelt es sich um eine Drehung einer Tragrollenstation um die y-Achse, die quer zur Förderrichtung verläuft. Also dem Kippen der Tragrollenstation in Förderrichtung. Der Vektor der Rollennormalen der äußeren Tragrollen zeigt somit nicht mehr in die Förderrichtung. Der Gurt wird daraufhin, wie in Abbildung 9 dargestellt, in Richtung der Mitte geführt, wenn der Gurt sich außermittig befindet und sich die seitlichen Kräfte nicht mehr ausgleichen.

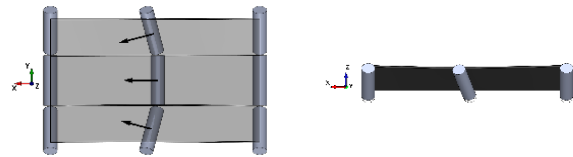


Abbildung 9. Sturzstellen einer Tragrollenstation

Um den Einfluss des Sturzwinkels auf die Lenkwirkung zu untersuchen, wird im Experiment eine Tragrollenstation auf Sturz gestellt und die laterale Position des Gurtes an den Messstellen relativ verglichen. Der Fördergurt wird dabei mit einer Schrägstellung der Umlenktrummel ausgelenkt. Um die Lenkwirkung zu erhöhen wird der Tragrollenabstand lokal vergrößert, sowie die Gurtvorspannung verringert. Die Sturzstellung der Tragrollenstation führt dabei zu einer Zentrierung des Fördergurtes von unter 2mm. Die relative mittlere Lenkwirkung über alle Messstellen in Abhängigkeit zum Sturzwinkel ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Maximale Zentrierwirkung ist dabei auf eins normiert.

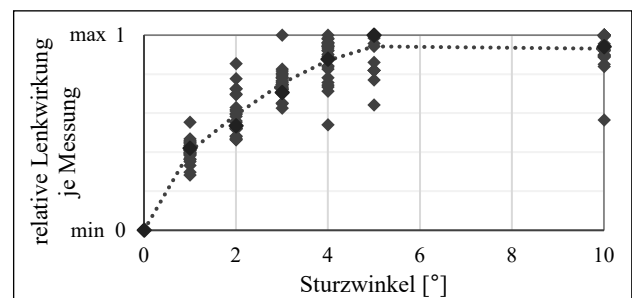


Abbildung 10. Relative Lenkwirkung durch Sturzstellung einer Tragrollenstation über alle Messstellen in Abhängigkeit zum Sturzwinkel

Bei dem Sturzstellen der Tragrollenstation um ein Grad wird dabei bereits eine Lenkwirkung von 40% der maximalen Zentrierwirkung erzeugt. Bei einem Sturzwinkel von zwei Grad erhöht sich diese auf 60%. Mit größer werdenden Sturzwinkel zeigt die Lenkwirkung einen asymptotischen Verlauf, die zusätzliche Lenkwirkung wird immer geringer.

Mit einer zunehmenden Drehung der Tragrollenstation wird der Winkel zwischen Rollennormale und Förderrichtung des Gurtes immer größer und es kommt zum durchrutschen des Gurtes.

Durch das Sturzstellen werden die äußeren Tragrollen abgesenkt, wodurch die vertikale Auflast auf die Seitentragsrollen sinkt. Diese beträgt spätestens bei einem Sturzwinkel von 90° gegen Null. Dieser Punkt wird jedoch früher erreicht, da auch der Muldungswinkel der betroffenen Tragrollenstation mit der Neigung abnimmt.

Es ist daher anzunehmen, dass die Lenkwirkung auf den Gurt mit größer werdenden Winkeln steigt, bis sie wieder abnimmt. Dieser Effekt deutet sich in den dargestellten Ergebnissen zu Sturzstellung in Abbildung 9 bereits an. So konnte bei 10° Sturzwinkel eine leicht geminderte Lenkwirkung als bei 5° festgestellt werden. Winkel bis 2° werden hier empfohlen, um auch die Reibleistungen möglichst gering zu halten [4].

7 VERDREHUNG UM DIE FÖRDERACHSE

Bei der Drehung einer Tragrollenstation um die Förderachse wird die eine Seite der Tragrollenstation angehoben, während sich die andere absenkt (Abbildung 11). Relativbewegungen zwischen Gurt und Tragrolle, die zur Lenkwirkungen führen, finden hier nicht statt. Die Tragrollennormale steht nach der Verdrehung immer noch parallel zur Förderrichtung.

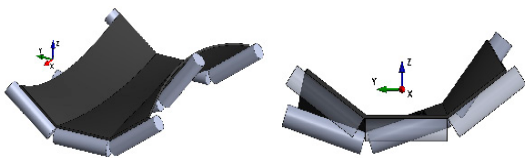


Abbildung 11. Drehung einer Tragrollenstation um die Förderachse

Die Untersuchungen zeigten zunächst einen deutlichen Lenkeinfluss der Tragrollenstation bei Drehung um die Förderachse. Da hier der Gurt ähnlich wie bei der seitlichen Verschiebung der Tragrollenstation angehoben wird, ist jedoch anzunehmen, dass die Lenkeinflüsse hier von Tragrollenfehlstellungen der betrachteten Tragrolle beeinflusst werden. Durch die Drehung der Tragrollenstation um die Förderachse wird eine äußere Tragrolle angehoben und gegen den Gurt gedrückt. Steht diese um die Vertikalachse verdreht oder auf Sturz, kommt es zu einer erhöhten Lenkwirkung, da größere Reibkräfte durch die gesteigerten Normalkräfte übertragen werden können.

In Abbildung 12 sind die erreichten Auslenkungen an den Messstellen in Abhängigkeit vom Verstellwinkel der Tragrollenstation dargestellt.

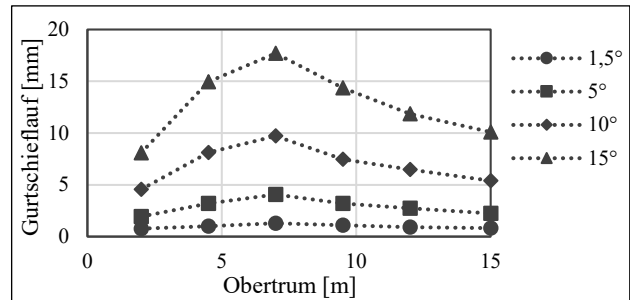


Abbildung 12. Auslenkung des Fördergurtes über die Länge des Fördersystems durch die Drehung einer Tragrollenstation um die Förderachse kombiniert mit ungewolltem Sturz

Bei Messungen mit weiteren Tragrollen konnte festgestellt werden, dass diese den Fördergurt in die umgekehrte Richtung auslenkten, als die in Abbildung 11 verwendete. Die zuvor verwendete Tragrollenstation befand sich leicht nach hinten gekippt auf dem Gestell, was also einen negativen Sturzwinkel auf. Die entsprechende Station ist in Abbildung 13 dargestellt. Sie wurde daraufhin leicht nach vorne gekippt, was zu einem positiven Sturzwinkel führt. Bei einer Drehung um die Förderachse wurde der Gurt nun wie bei den zuvor verwendeten Tragrollenstationen geführt.

Durch das Sturzstellen mit positiven bzw. negativen Sturzwinkel in Kombination mit einer Drehung um die Förderachse entstand eine Differenz der Lenkwirkung von fast 13 mm. Dieser Wert entspricht einer Rotation um die Förderachse zwischen 10° und 15° , wie in Abbildung 11 gezeigt wird. Er ist auch verglichen mit den vorherigen Auslenkungen, die bei anderen Versuchen erzeugt wurden, als hoch einzuschätzen.

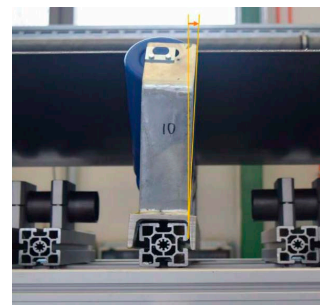


Abbildung 13. Tragrollenstation mit leichtem positiven Sturzwinkel

Demnach ist die Lenkwirkung von Tragrollenstationen oder Seitentragsrollen mit erhöhter Normlast immer als sehr hoch einzuschätzen. Daher muss bei der Anlagenplanung und beim Bau besonders Augenmerk auf die Stellen der Anlage gelegt werden, an denen es zu erhöhten Normlasten kommt. Die Lenkwirkung einer Fehlausrichtung an diesen Stellen zu kompensieren ist deutlich schwieriger

als an einer durchschnittlichen Anlagenposition. Zu den besonders kritischen Bauteilen zählen neben den Antriebs- und Umlenkrollen auch die Einschnürrollen. Bei den Einbaupositionen der Tragrollen ist besonders an den Stellen mit erhöhten Lasten auf eine korrekte Montage zu achten. Die kritischen Positionen befinden sich dabei im Bereich der Materialaufgabe, da hier die dynamischen Lasten des Schüttgutes bzw. der Vertikaldruck des Bunkers oder Silos vertikallasten erhöhen, sowie in Kurven. In Kurven müssen die Tragrollenstationen um die Förderachse verdreht werden, um die Zugkräfte des Gurtes aufzunehmen. Hier muss daher besonders darauf geachtet werden, dass die Tragrolle lotrecht oder mit leicht nach vorne geneigt (positiver Sturz) eingebaut wird. Negativer Sturz führt daher zwangsläufig zu einer massiven Stabilisierung des Gurtlaufs.

8 STATIONÄRER ZUSTAND DES FÖRDERGURTES

Nach dem Einleiten einer Störgröße, wie durch das Verstellen von Tragrollenstationen, kommt es zu einer Auslenkung des Fördergurtes. Für das Erreichen einer stationären Lage nach dem Wirken einer Störgröße muss der Gurt eine gewisse Distanz zurück legen. Diese Distanz ist in der Praxis von großer Wichtigkeit, da sie festlegt, wie lange gewartet werden muss, bis die Änderungen auf den Gurtlauf sichtbar und beurteilbar sind. Die seitlichen Verschiebungen sind in ihrer Geschwindigkeit so gering, dass eine manuelle Einschätzung nicht möglich ist. Die Distanz wird teilweise mit zwei bis drei Umläufen abgeschätzt [5].

Am Versuchsförderer wird der Gurt durch Drehung einer Tragrollenstation um die Förderachse in Kombination mit Sturzwinkel ausgelenkt, da hier die größten Lenkwirkungen erzielt wurden. Es wird angenommen, dass große Lenkwinkel mehr Förderstrecke benötigen, bis sich ein stationärer Lauf eingestellt hat. Für eine Verdrehung der Tragrollenstation um $1,5^\circ$, 5° , 10° und 15° können so unterschiedlich große Auslenkung des Fördergurtes erzielt werden.

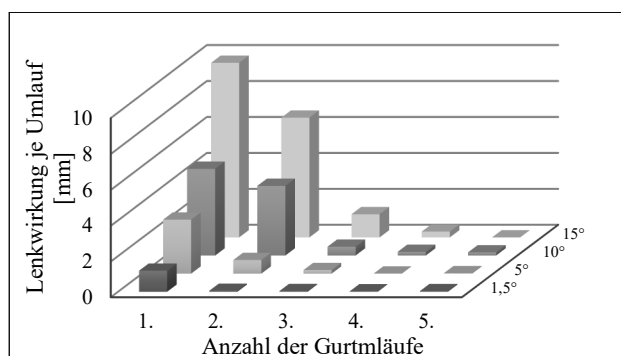


Abbildung 14. Erzeugte Lenkwirkung des Fördergurtes je Umlauf durch die Drehung einer Tragrollenstation um $1,5^\circ$; 5° ; 10° und 15° um die Förderachse in Kombination mit konstanten Sturzwinkel.

In Abbildung 14 sind die Auslenkungen des Fördergurtes pro Umlauf des Gurtes dargestellt. Bei einer geringen Lenkwirkung ist die Auslenkung nach einem Umlauf abgeschlossen. Mit einer zunehmenden Drehung der Tragrollenstation wird der Fördergurt weiter ausgelenkt. Größere Auslenkungen benötigen mehr Umläufe zum Erreichen einer stationären Lage. Bei einer Drehung von 15° und einem somit entstandenen Gurtschieflauf von insgesamt $17,7$ mm benötigt der Fördergurt 4 Umläufe. Die Anzahl der Umläufe bzw. die Distanz, die der Fördergurt zurücklegt um eine stationäre Lage zu erreichen ist somit abhängig von der Störgröße.

Bei kleinen Störgrößen, die kleine Auslenkungen zum Resultat haben, kann eine Anzahl von 3 Umläufen als Richtwert verwendet werden. Drei Umläufe des Gurtes zu unterschreiten kann das Einrichten des Gurtförderers unnötig erschweren und ist höchstens an Anlagen zu empfehlen, die aufgrund ihrer Länge oder Struktur eine Fortpflanzung des Gurtschieflaufs in den Rücktrum unwahrscheinlich machen. Sehr lange Anlagen zählen hierzu, bei denen sich die entstehenden Lenkeffekte aufgrund von Selbstzentrierung nachweisbar abgebaut haben [6].

9 VERFORMUNG IN ABHÄNGIGKEIT ZUR POSITION DER STÖRGRÖßE

In den oben vorgestellten Messungen befindet sich das Maximum des Gurtschieflaufs immer mittig zwischen den Antriebs- und Umlenkrollen. Es stellt sich jedoch die Frage ob die Trommel oder die Einleitung der Störgröße diesen Effekt maßgeblich beeinflussen. Daher wurden für die Untersuchung des Zusammenhangs von Gurtverformung und Position einer Störgröße Tragrollenstationen nacheinander an 9 verschiedenen Stellen über die Länge des Förderers um die vertikale Achse verdreht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 15 dargestellt. Rot markiert sind jeweils die Position der Störstelle, also der verdrehten Tragrollenstation. Die maximale Auslenkung je Messung wird dabei auf Eins normiert, die minimale Auslenkung wird mit Null angegeben. Dies dient dazu die Verformung, die stark von der Stelle im Fördersystem abhängt, vergleichbar darzustellen.

Die maximalen Auslenkungen befinden sich in der Nähe der Störstelle. Sie wandern bei Verschiebung der Störstelle mit. Der Fördergurt wird durch die ballige Antriebstrommel aber auch durch die gemuldeten Tragrollenstationen zentriert.

Durch die geringe Auflösung mit nur sechs Sensoren kann nicht abschließend bewiesen werden, dass sich das Maximum immer hinter der Störgröße befindet.

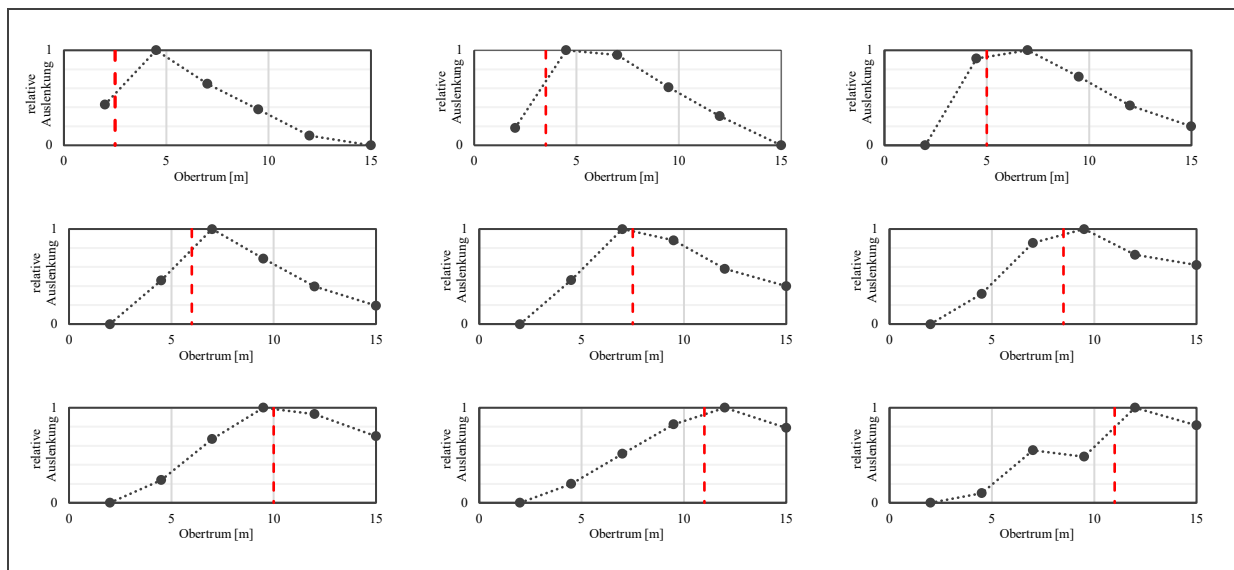


Abbildung 15. Relative Auslenkung des Fördergurtes über die Länge des Obertrums in Abhängigkeit zur Lage der Störstelle (gestrichelte rote Linie).

10 SIMULATIONSANSATZ FÜR GURTSCHIEFLAUF

Um den Gurtlauf sowie den Einfluss von Gurtlenkeintrichtungen vorherzusagen wurde innerhalb des Projektes ein Simulationsansatz entwickelt. Dabei wird der Gurtkontakt als rein geometrischer Effekt [7] betrachtet. Es wird hierfür ein kraftschlüssiger Kontakt zwischen Tragrolle und Gurt angenommen. In der ersten Modellentwicklungsstufe werden dabei nur Flachgurte betrachtet.

Die Bewegung des Gurtes ist vom Auflaufwinkel am Auflaufpunkt auf die Tragrolle, sowie den Kontaktpunkten an den anderen Rollen abhängig. Die Biegesteifigkeit des Riemens führt dabei zu einem stetigen Verlauf des Gurtes, wodurch sich dieser als Biegebalkenmodell abbilden lässt [8].

In Abbildung 16 ist die Herleitung des Auflaufwinkels α zu sehen. α ist der Winkel, der zwischen der Rollennormalen und der Tangente des Balkens im Auflaufpunkt aufgespannt wird.

$$\alpha = \gamma - \beta \quad (1)$$

Der Auflaufpunkt ist der Punkt an dem der Balken den ersten Kontakt mit der Rolle hat. Im idealen, zwei-dimensionalen Fall wäre dies der Mittelpunkt der Rolle. Wenn allerdings auch der Durchhang des Fördergurtes berücksichtigt

wird, verschiebt sich der Punkt nach vorn. Wenn α Null ist, dann hat der Balken die gleiche Steigung wie die Normale der Rolle.

Für die Berechnung des Gurtes wird die auf einen Balken reduzierte Steifigkeitsmatrix verwendet. Wird der Gurt als FEM-Körper beschrieben, kann die Verformung des Gurtes über die Verschiebung der einzelnen Knoten ermittelt werden. Die Knotenverschiebungen lassen sich dabei aus der Gurtgeschwindigkeit, dem Auflaufwinkel und dem Rollenwinkel integrieren. [9]

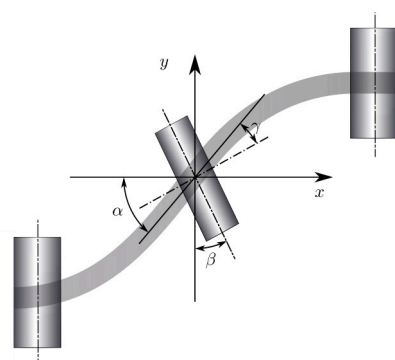


Abbildung 16. Eine Tragrolle ist um einen Winkel β verstellt daraus resultiert Auflaufwinkel α

Für die Simulation eines gemuldeten Gurtförderers wird das Model des Flachgurtes um ein Reibmodell erweitert. Die gemuldeten Tragrollenstationen führen, ebenso wie eine ballige Antriebstrommel zu einer Selbstzentrierung des Gurtes. Dies reduziert den möglichen Gurtschief-
lauf auf das Maximum, dass von der Reibungskraft im Kontakt von Tragrolle und Gurt übertragen werden kann. Schüttgutkräfte können aus kalibrierten DEM Simulationen übernommen werden, um die Übergabestelle korrekt abzubilden. [10] Die bisher gewonnen Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation über der Strecke des Gurtes. [11]

11 AUSBLICK

Die vorgestellten Versuche wurden an einem unbeladenen Gurtförderer durchgeführt. Die Versuchsanlage wird derzeit um einen Rückförderer und Einrichtungen zur Schüttgutübergabe erweitert, sodass Schüttgut im Kreis gefördert werden kann. Dies ermöglicht Test mit außermittiger Materialaufgabe, welches eine Ursache für Gurtschief-
lauf darstellt. Desweitern soll in Erfahrung gebracht werden in wie fern die vorgestellten Lenkwirkungen der Tragrollenstation durch Schüttgutlasten beeinflusst werden. Ziel ist es diese Effekte ebenfalls in ein Simulations-
model zu integrieren.

LITERATUR

- [1] Otto, H.; Katterfeld, A.; Analysis and simulation of belt tracking of conveyor belts / Beschreibung und Simulation des Gurtschief-
laufs an Gurtförderanlagen. In: World of Mining – Surface & Under-
ground 67 (2015) No. 1, Clausthal, 2015.
- [2] Yuko, Kobayashi; Kiminori, Effect of belt transport speed and mistraking, Berlin: Springer-Verlag, 2017.
- [3] Ostermeyer, G.-P., Otto, J., Rhee, S.: In-Plane and Out-of-Plane Vibrations of Brake Linings on the Rotor, SAE Technical Paper 2017-01-2530, 2017
- [4] CEMA - Belt Conveyors for Bulk Materials. 7. Naples, USA: Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2014
- [5] Swinderman, R.T.; Marti A.D., Goldbeck, L.J.; Marschall,D.; Strebel, M.D.: Foundations: Schüttgut besser beherrschen: Das praktische Nachschlagewerk für mehr Sauberkeit, Sicherheit und Produktivität, 4. Auflage, Neponset, Illinois, U.S.A, 2011.
- [6] Schulz, G.: Measuring control and presentation of geometry, position and condition of the conveyor belt of a belt conveyor as well as realisation of an automatic control concept for the correction of off-track running belts. Bochum
- [7] Martin, Egger: Laufverhalten von Flachbändern: Lenkmechanismen beim seitlichen Führen von Bändern, Stahleisen Communications, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 2008.
- [8] Otto, H.; Katterfeld, A.; Prediction and Simulation of Mistracking of Conveyors Belts; The 8th International Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids. Tel-Aviv, Israel, 2015.
- [9] Otto, H.; Katterfeld, A.: Beschreibung und Simulation des Gurtschief-
laufs an Gurtbandförderanlagen In: 6. Kolloquium Fördertechnik im Bergbau. - Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger-Verl., S. 53-62, 2014; Kongress: Kolloquium Fördertechnik im Bergbau; 6 (Clausthal-Zellerfeld) : 2014.01.22-23

- [10] Roessler, T.; Katterfeld, A.: Scaling of the angle of repose test and its influence on the calibration of DEM parameters using upscaled particles. Powder Technology 330. 2018.
- [11] Otto, H.; Katterfeld, A.; Experimental Analysis of lateral Belt Movement and Simulation of Mistraking of Conveyor Belts; The 9th International Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids. London, GB, 2018.

Dipl.-Ing. Hendrik Otto, seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Logistik und Materialflusstechnik.

B.Sc. Lisa Wonner, Masterstudentin am Lehrstuhl für Förder- und Materialflusstechnik. Sie beschäftigt sich mit der experimentellen Analyse von Gurtschieflauf.

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

Kontaktadresse:

Hendrik Otto, ILM, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39104 Magdeburg, Germany
Phone: +49 391 59 76 68 74,
E-Mail: hendrik.otto@ovgu.de