

Trag- und stützrollenfreier Gurtbandförderer

A belt conveyor without carrying and support rollers

André Riedel
Thomas Linke
Klaus Nendel

Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
Professur Fördertechnik

André Schirmer
Thomas Mauersberger

fömat GmbH
Fördertechnik und Maschinenbau Thum

Förderbänder in Ihrer konstruktiv bekanntesten Bauart weisen im Einsatz einige Schwachpunkte auf, die vor allem die zeit- und kostenintensive Wartung und die Verschmutzung des Aggregates beinhalten. Ziel war es, einen komplett gekapselten, weitestgehend selbstreinigenden und instandhaltungsfreundlichen Gleitgurtförderer zu entwickeln. Die gesteckten Ziele wurden im Forschungsprojekt erreicht und in einem Demonstratormodel umgesetzt.

[Schlüsselwörter: Gleitgurtförderer, Trag- und Stützrollenfrei, Selbstreinigungseffekt, Gleitelemente, Wartungsfreundlich]

Conveyor belts in their already known construction have some weaknesses in the area of application, which mainly include the time and cost intensive maintenance and pollution of the conveyor belt. The aim was to develop a completely closed, self-cleaning and maintenance-friendly conveyor. The objects have been achieved in the research project and implemented in a demonstration model.

[keywords: sliding belt conveyor, conveyor without carrying and support rollers, self-cleaning effect, slide plates, maintenance friendly]

1 AUFBAU EINES GURTFÖRDERERS, ALTERNATIVE ABSTÜTZUNG

1.1 AUFBAU

Gurtbandförderer sind in ihrem Aufbau relativ einfach und werden seit vielen Jahrzehnten nahezu unverändert gebaut. Gekennzeichnet sind sie durch einen umlaufenden

Gurt, meist aus Gummi oder Kunststoff und eingearbeiteten Zugträgern, welche dem Gurt Stabilität geben. Der Fördergurt wird über mindestens zwei Trommeln umgelenkt und durch Trag- und Stützrollen getragen. Mindestens eine Trommel ist dabei angetrieben und versetzt durch Umschlingungsreibung den Gurt in Bewegung. Auf der Oberseite des Gurtes wird das Gut transportiert.

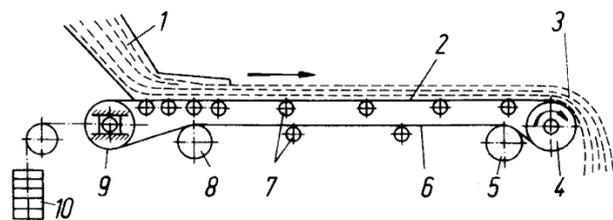


Abbildung 1. Schema eines Gurtförderers [Kes-07]
(1 Gutaufgabe, 2 Obertrum, 3 Gutabgabe, 4 Antriebstrommel, 5 Ablenktrommel, 6 Untertrum, 7 Tragrollen, 8 Ablenktrommel, 9 Umlenk- und Spanntrommel, 10 Spanngewicht)

Ein besonderer Vorteil der Gurtbandförderer gegenüber anderen Stetigförderern, wie z.B. Trog- oder Kratzkettenförderern, ist die Tatsache, dass das zu fördernde Gut während des Transportes auf dem Band ruhend liegt. Das heißt, dass es innerhalb des Gutes zu keiner Bewegung und damit zu keiner Reibung, Verdichtung etc. kommt. Um den Durchhang des Gurtes auf der gesamten Förderstrecke im Rahmen zu halten, sind in bestimmten Abständen Rollen als Stützelemente für den Gurt vorgesehen. Diese Stützelemente unterliegen einer gewissen Lebensdauer, welche stark von dem Verschmutzungsgrad des Fördergurtes abhängt. Besonders bei staubhaltigen Fördergütern kommt es immer wieder dazu, dass auf Grund der Staubbelastung Trag- und Stützrollen festge-

hen, d.h. nicht mehr drehen, oder aber sich auf den Rollen Schmutz ansetzt und anbäckt. Ersteres verursacht eine höhere Leistungsaufnahme des Gurtförderers und kann schlimmsten Falles zum Stillstand des Bandes führen, wenn mehrere Rollen betroffen sind. Das Anbacken von Gut auf den Rollen führt zur Beeinträchtigung des Gurtlaufes, verursacht Störungen und reduziert die Lebensdauer des Gurtes. Um dies zu verhindern bzw. die Gefahr einer ernsthaften Störung zu verringern, ist eine ständige Inspektion und Wartung bei Gurtbandförderern notwendig.

1.2 ABSTÜTZUNG IM OBERTRUM

Im Obertrum können durch den Einsatz eines Gleitbleches als Stützkonstruktion wartungs- und verschleißintensive Rollen ersetzt werden. Dazu wird beim Gurt auf die unterste Deckschicht verzichtet oder diese mit einer speziellen Beschichtung versehen. Bei kurzen oder nur mit leichten Fördergütern beladenen Teilstücken einer Förderanlage werden daher stets Gleitgurtförderer eingesetzt. Da es keinen Banddurchhang wie bei den Tragrollenbändern gibt, kann das Band zum Rand hin besser abgedichtet werden. Wie bei der Firma *fömat GmbH* finden Gleitbleche im Obertrum vorwiegend da Benutzung, wo ein ruhiger Lauf des Schütt- oder Stückguts notwendig wird. Neben den zuvor genannten Vorteilen für Schüttgüter ermöglicht dies, dass es bei großen Stückgütern zu keinen Schwankungen kommt. Förderbänder mit gleitender Obertrumabstützung finden beispielsweise bei Sortierbändern in der Abfallverwertung, bei losen noch feuchten Grünschnitten, bei Gepäck- und Pakettransporten, bei Werkerbändern und zur Personenbeförderung Anwendung.

Bei den Mitbewerbern liegen die bisherigen eingesetzten Achsabstände bei einer Gurtbreite von 2000 mm bei 50 m [Jän-04] bis 200 m [Bor-12]. Diese Grenze ergibt sich aus der Grenze der Wirtschaftlichkeit zwischen dem um eine Zehnerpotenz erhöhten Energiebedarf und den verringerten Anschaffungs- und Wartungskosten.

Die Gleitgurtförderbänder unterscheiden sich von den normalen Mehrlagenbändern hinsichtlich der unteren Deckschicht. Sie entfällt, wobei der Gurt auf dem Textilgewebe gleitet, oder wird durch eine Schicht mit einem niedrigeren Reibwiderstands ersetzt.

Die Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Gurthersteller über die zu erwartenden Gleitreibungsbedingungen bei verschiedenen Paarungen der Fördergurtlaufseite und der Stützfläche. Die Werte der Firmen *Reiff* und *Forbo Siegling* beziehen sich dabei auf ihre angebotenen Transport- oder Prozessbänder, welche der Kategorie Leichtfördergurte zugerechnet werden können.

Ähnliche Werte sind auch in *DIN 22 101* für den Reibschluss zwischen Antriebstrommel und der Gurtlaufseite zu finden. Sie weist für den Kontakt der gummierten Laufseite mit blankem Stahl einen Reibwert von $0,35-0,4$ auf, welcher sich bei Nässe und öliger Verschmutzung auf bis zu $0,05$ verringern kann. Im Vergleich dazu rechnet man bei einer Tragrollenabstützung mit Rollwiderständen von $0,0135$ bis $0,027$, einem Zehntel bis Zwanzigstel des Gleitreibungswiderstands. [All-08]

Das Patent DE 891 525 B [Lel-43] beschreibt ein endloses Förderband für den Bergbau, welches beidseitig mit „Plättchenbelägen“ versehen ist, auf denen der Gurt im Ober- und Untertrum gleitet. Die Gleitflächen sind patentgemäß an den Längskanten sowie in der Bandmitte angeordnet. Befestigungsart, Werkstoff oder Form werden nicht näher gekennzeichnet.

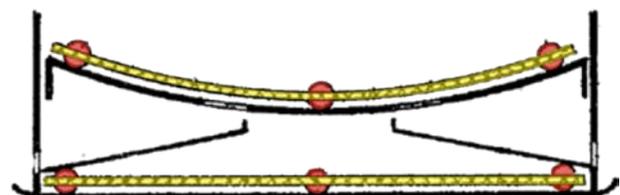


Abbildung 2. Abstützung durch am Gurt befestigte Gleitelemente im Ober- und Untertrum [Lel-43]

Tabelle 1. Gleitreibungszahlen verschiedener Fördergurt-Stützflächen-Paarungen

Hersteller	Laufseite des Gurtes	Material der Stützfläche		
		Stahl	Kunststoff	Hartholz
Continental [All-08]	EP (roh)	0,3 (+18°C) 0,3 (-20°C, 0°C); 0,25 (+45°C)	0,28 (+18°C)	0,25 (+18°C)
	B (roh)	0,45 (+18°C) 0,75 (-20°C); 0,7 (0°C); 0,35 (+40°C)	0,4 (+18°C)	0,35 (+18°C)
	B (gummiert)	0,7 (+18°C)	0,6 (+18°C)	0,6 (+18°C)
	Deckplatten-gummi	0,9 (+18°C)		
Reiff [Rei-09]	E	0,17	0,18	0,2
Forbo Siegling [For-12]	Texglide (AmpMiser)	≤ 0,15 (unverzinkt)		

Bereits in den 70er Jahren wurden unter dem eigentlichen Fördergurt weitere Förderbänder eingesetzt. Diese dienten bei schlechten Reibpaarungen an der Antriebstrommel oder nur kleinen erreichbaren Umschlingungswinkeln dem Antrieb des Stetigförderers. Beim Patent DE 100 17 159 A1 [Ges-00] werden unter dem Fördergurt zwei Untergurte eingesetzt. Während der erste Untergurt mit gleicher Geschwindigkeit wie der Hauptgurt fährt, läuft der zweite, beidseitig textile Untergurt mit einer kleineren Geschwindigkeit auf einem Gleittisch. Mit diesem Verfahren treten geringere Relativgeschwindigkeiten – und somit weniger Lärm und Verschleiß – zwischen Tisch und Gleitgurt auf als bei einer Ein- oder Zweigurtvariante.

Die Alternative der Abstützung mittels eines Luftkissens oder eines anderen niedrig viskosen Mediums unter dem Gurt, hat sich trotz des niedrigen Reibwiderstands nicht durchgesetzt. Die Anforderungen an die Abdichtung zwischen Band und Schüttgut und der hohen Energieeinsatz machen das System für die meisten Einsatzzwecke unwirtschaftlich. [Jon-71]

1.3 ABSTÜTZUNG IM UNTERTRUM

Im Bereich der Stütz- und Tragkonstruktion im fördergutfreien Untertrum haben sich am Markt vorwiegend die Tragrollen durchgesetzt. Auf Grund der geringeren Belastungen können im Untertrum die Rollenabstände größer und damit für den Gesamtaufbau kostengünstiger ausfallen. Im Untertrum läuft der Gurt auf der materialtragenden Seite zurück, so dass auf die obere Gummi-Deckplatte inklusive Materialmitnehmer nicht verzichtet werden kann. Der dadurch zu erwartende Reibwert gegen Stahl ist mit $\mu = 0,9$ [All-08] doppelt so hoch wie bei der imprägnierten, textilen Laufseite. Man findet daher am Markt keinen Hersteller für Schütt- oder Stückgutförderbänder mit einer Trockenreibung zwischen der Deckplattenschicht und einem Gleittisch im Untertrum.

Ähnlich dem Einsatzes im Obertrum [Ges-00] findet man bei dem Patent DE 10 2005 041 523 A1 [Str-05] einen zweiten Abstützenden Gurt. Dieser minimiert im Untertrum den Verschleiß auf der Gurtragseite. Das zweite Band ist gemäß Abbildung 3 zwischen Untertrum und Gleittisch montiert. Dies ermöglicht eine Minimierung des Laufwiderstands und den Einsatz einer gummierten, widerstandsfähigeren Deckschicht am Fördergurt versehen werden.

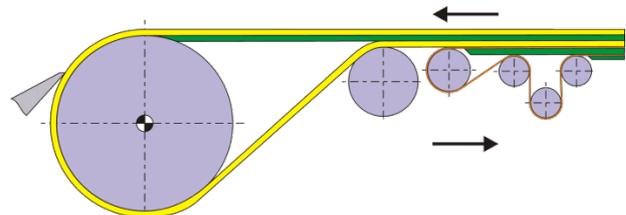


Abbildung 3. Aufbau des Gurtförderers nach DE 10 2005 041 523 A1 [Str-05]

Die Firma Hansen Manufacturing Company aus den USA vertreibt unter dem Markennamen HiRoller Gurtbandförderer für Getreide und ähnliche Agrarprodukte. Diese zeichnen sich durch eine gekapselte Bauweise und einem automatischen Rückführen des vom Ober- auf den Untertrum heruntergefallenen Schüttguts aus. Für weitere Betrachtungen in dieser Arbeit jedoch besonders interessant ist, dass der Rücktrum, wie in Abbildung 4 zu sehen, auf einer am Gehäuseboden verschraubten, hochmolekularen Polyethylen-Platte gleitet. Der Getreidestaub bildet eine Schmierschicht zwischen Fördergurtragseite und verbessert die Gleiteigenschaften des Bandes. Die PE1000-Platten besitzen eine Dicke von 20-25 mm und müssen nach Schätzungen von HiRoller bei hohen Beanspruchungen aller 10-20 Jahre gewechselt werden, während der dabei verwendete Fördergurt nach mindestens 6 (spätestens 20) Jahren getauscht wird. In Abständen größer 30 m sind am Boden Abstreiferbleche vorgesehen, welche eventuelle Gurtanbackungen lösen. Mitnehmer und Profile werden keine eingesetzt.

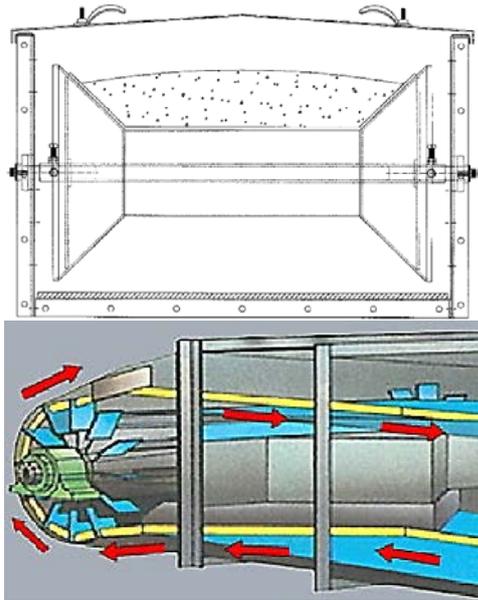


Abbildung 4. Schema eines Gurtförderers Bandförderer der Firma HiRoller [HiR-00]

2 PROBLEMSTELLUNG UND UMSETZUNG

Im Rahmen des Forschungsprogramms sollte ein Gurtförderer entwickelt werden, welcher im Ober- und Untertrum ohne wartungsintensiven Stützelemente (Trag- und Stützrollen) auskommt. Die rollende Abstützung sollte durch eine Gleitreibung ersetzt werden. Aber anders als beim HiRoller soll der Gurtförderer eine Schrägförderung von bis 45° ermöglichen und auch mit Schüttgütern, welche keine Gleitschicht ausbilden, betrieben werden können. Durch den Wegfall der Tragrollen war die ständige Zugänglichkeit des Ober- bzw. Untertrums nicht mehr notwendig. Das Förderband konnte daher in den äußeren Abmaßen konzentriert und von der Umwelt gekapselt werden.

2.1 MULDUNG UND SCHRÄGFÖRDERUNG

Die Schrägförderung kann in Abhängigkeit vom Schüttwinkels des eingesetzten Schüttguts und dem Laufverhalten des Förderbandes bis zu einem Winkel von 20° ohne Hilfsmittel auf dem Gurt erfolgen. Bei größeren Steigungen muss auf Gurte mit Profilen oder Querstellen zurückgegriffen werden.

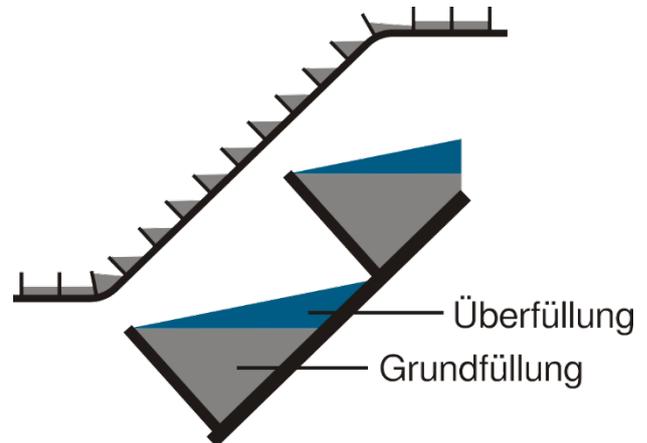


Abbildung 5. Einsatz von Querstellen bei großen Steigungswinkeln [Rai08]

Um einen Gurt mit Profilen muldungsfähig zu gestalten, ist darauf zu achten, dass diese Profile nicht über die ganze Gurtbreite verlaufen. Je höher die Stellen werden, desto höher wird die Quersteifigkeit und desto niedriger ist die Muldungsfähigkeit. Das Profil muss daher in Querrichtung aufgebrochen werden. Tabelle 2 stellt verschiedene Stellenprofile gegenüber. Während die Varianten 1 und 4 gar nicht oder nur bedingt muldungsfähig sind, bilden die Gurte in den Darstellungen 2, 3 und 5 eine zwei- oder dreiteilige Mulde aus.

Ähnlich wie die Stellen die Quersteifigkeit erhöhen, wird auch in Längsrichtung der minimale Biegeradius durch ein Längsprofil erhöht. Für die Profile 1-3 ergibt sich bei

Tabelle 2. Profiltypen

	1	2	3	4	5
muldungsfähig	minimal	ja	ja	nein	ja
Durchmesser der Umlenkrolle	groß	groß	groß	klein	klein

[Con-13]

einem Umlenkrollendurchmesser von 400 mm eine maximale Stollenhöhe von 35 mm [Con-13], währenddessen die Profile 4 und 5 Querstollen mit einer Höhe von 160 mm [Con-10] zulassen. Bei der herkömmlichen Rollenabstützung im Untertrum haben die letztgenannten Varianten den Nachteil, dass keine kompletten Tragrollen eingesetzt werden können. Eine Abstützung ist bei ihnen nur am Rand und zwischen den Querprofilen möglich. Dadurch ergeben sich relativ große Rollendurchmesser (mindestens dem Doppelten der Querstollentiefe) und damit verbunden ein hoher Bauraum. Bei Querstollen mit einer Höhe von 160 mm, werden Tragrollen mit mindestens 450 mm Durchmesser empfohlen. [Con-13] Ein Beispiel mit Tragrollen ist in Abbildung 6 zu sehen.

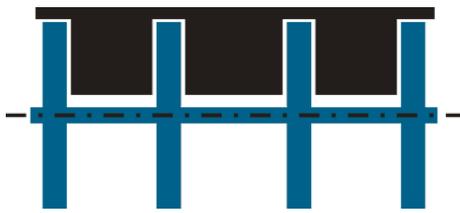


Abbildung 6. *Tragrollenabstützung*



Abbildung 7. *Abstützung mit Gleitblechen/-platten*

In Abbildung 7 ist ein ähnlicher Gurt mit Querstollen zu sehen, welcher im Untertrum auf Gleitblechen oder -platten abgestützt wird. Neben dem geringeren notwendigen Bauraum kann auch der Querstollenzwischenraum auf das zum Einmulden notwendige Minimum reduziert werden.

2.2 BEFESTIGUNGSMÖGLICHKEITEN

An die Befestigung der Gleitelemente wurden folgende Anforderungen gestellt:

- leicht austauschbar
- Befestigung muss Gurtlebensdauer überstehen
 - Verschleiß durch Abrasivgut

- Dynamische Belastung durch Wechsel zwischen Ober- und Untertrum
- kostengünstige Herstellung der Verbindung
- kostengünstige Gleitelemente

Auf Grund dieser Rahmenbedingungen sind folgende, in Tabelle 3 dargestellte, Ideen entstanden. Bei den Varianten 1-4 wird ein standardisiertes C-Profil auf oder im Kopf des Gurtstollens befestigt. Die Befestigung kann durch Kleben und Verschrauben direkt in den Gummi oder mittels eines vorher eingeklebten Inserts erfolgen. Durch Einfräsen einer Nut in den Stollenkopf kann der abrasive Verschleiß an der Verbindungsstelle verringert werden. Eine Ablösung des C-Profils vom Stollen durch die dynamische Belastung muss überprüft werden. Durch die Anwendung von C-Profilen als Grundlage für die Kettenführung gibt es in diesem Bereich eine große Anzahl an Standard-Kunststoffprofilen hinsichtlich in Form und Material. [Wef-15] Als Nachteilig könnte sich die parallel zur Kraft verlaufende Einspannung erweisen. Erste FEM-Berechnungen bestätigten, wie in Abbildung 8 zusehen, die hohe Kerbwirkung. Bei einer langsam ansteigenden, statischen Belastung besitzt der Werkstoff eine hohe Sicherheitsreserve, jedoch ist dies durch Störstoffe nicht in allen Einsatzszenarien gegeben.

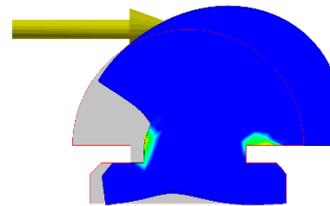


Abbildung 8. *Belastungsanalyse am Pilzprofil*

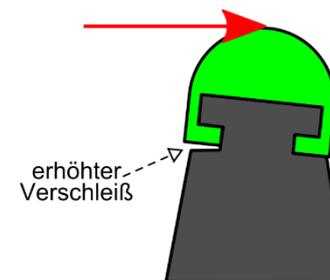
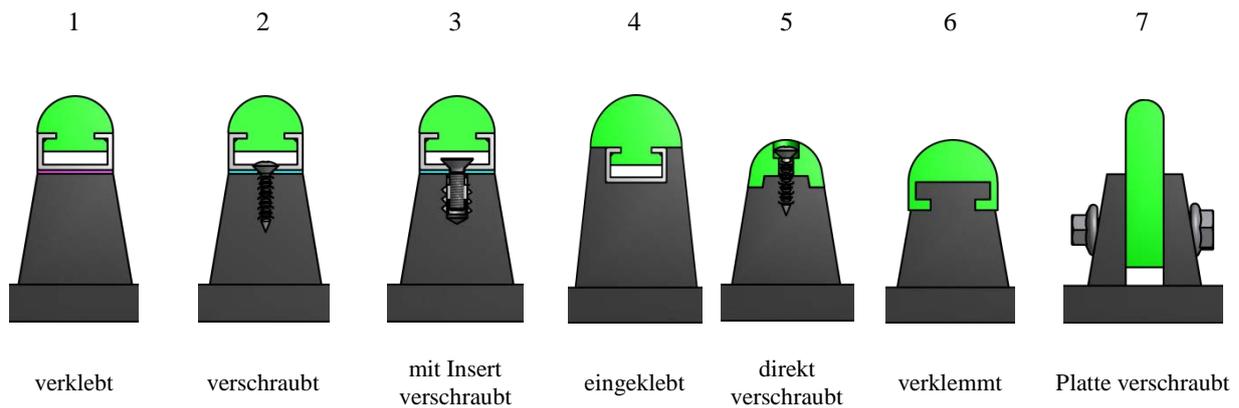


Abbildung 9. *Verschleißangriff im belasteten Zustand*

Tabelle 3. *Stollen-Gleitelement-Befestigung*



Bei der Befestigungsvariante 5 wird das Gleitelement direkt mit dem Stollen verschraubt. Die Herstellung vereinfacht sich. Um ein mehrfaches Wechseln der Gleitelemente zu ermöglichen muss, wie in Variante 3 dargestellt, ein Insert im Stollen verklebt werden.

Bei Variante 6 werden die Gleitelemente lediglich durch ein im Stollen eingefrästes Profil formschlüssig verklemmt und seitlich gegen Verschieben gesichert. Da der Stollengummi eine größere Verformung zulässt, ist bei dieser Variante ein verstärkter Verschleiß am Stollen-Gleitelement-Übergang zu erwarten (siehe Abbildung 9). Bei erhöhtem Verschleiß besteht zudem die Gefahr, dass die formschlüssige Klemmung ausfällt. Für einen Gleitelementtausch muss der Gummi intakt sein, da sonst der komplette Stollen ausgetauscht werden muss.

Die Variante 7, entsprechend in Abbildung 10 rechts dargestellt, orientiert sich am bereits etablierten TCWD-Stollensystem der ContiTech [Con-10] (links). Jedoch wird anstatt einer Senkrechtförderschaukel eine Gleitplatte eingespannt. Dieses System erlaubt eine hohe Verschleißreserve. Gegenüber den Varianten mit einem, nur an beiden Enden verspannten, C-Profil lässt sich das Gleitelement erst nach dem Lösen aller Schrauben nach oben entnehmen. Beim C-Profil muss man das Kunststoffprofil in Richtung der Seite entnehmen, was bei einem stark gemuldeten Fördergurt nur im ungemuldeten Bereich

möglich ist.

2.3 REIBWERTBESTIMMUNG UND AUSWAHL DER GLEITPARTNER

2.3.1 MESSMETHODEN

Die Reibwert-Untersuchungen wurden auf dem Platte-gegen-Platte-Prüfstand (Abbildung 11) der Professur durchgeführt. Der TriboSpeedster führt, angetrieben durch einen Linearmotor, oszillierende Bewegungen durch. Es können gleichzeitig 4 Paarungen getestet werden. Die Prüfung erfolgt an einer $15 \times 10 \text{ mm}$ Oberprobe, welche gegen eine mindestens $150 \times 20 \text{ mm}$ große Schiene verfahren wird. Da die Oberprobe im Dauereinsatz ist, besitzt diese den höchsten Wärmeeintrag. Die Unterprobe kann sich während des Bewegungsablaufs fort während abkühlen. Für die Untersuchung ist die Aufteilung der Paarungspartner entsprechend der Einsatzbedingungen auszuwählen. Das heißt, dass das Material des im Dauereinsatz befindlichen Bauteils als Oberprobe ausgewählt werden sollte.

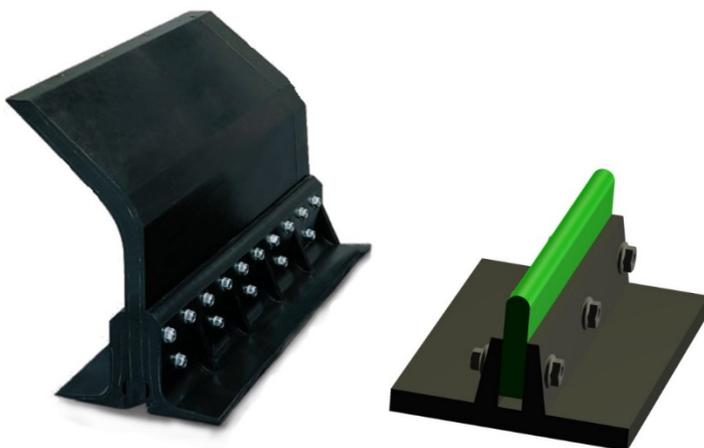


Abbildung 10. *TCWD-Stollen [Con-10] und eine zwischen zwei Stollen verspannte Gleitplatte*



Abbildung 11. *TriboSpeedster-Versuchsstand*

Während der Versuchsdurchführung werden die Normalkraft, die Tischposition und die Oberflächentemperatur der Oberprobe gespeichert. Wie in Abbildung 12 schematisch dargestellt, lässt sich daraus die Reibkraft F_R und der Reibwert μ ermitteln. Für die Bewertung der Paarung und Reibparameter wird nach dem Einlauf der Durchschnitt der letzten zwei Stunden eines 24 Stundenversuchs verwendet.

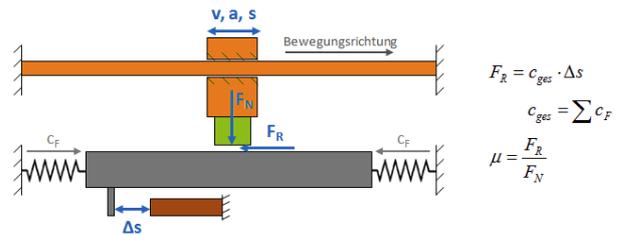


Abbildung 12. Messprinzip des Versuchstandes

2.3.2 OPTIMIERUNG DES REIBKONTAKTS IM OBERTRUM

In der Literatur und in Patentbeschreibungen, bspw. in [Ges-00], findet man Anmerkungen, dass ein Lochblech bessere Gleiteigenschaften aufweist als ein Vollblech. Untersuchungen an einem glatten Vollblech und Blechen mit welligen, tropfen oder punktförmigen Mustern konnten keinen positiven Effekt bescheinigen. Die Prüfung erfolgt mit $30 \times 50 \text{ mm}$ großen Gurtproben gegen $60 \times 250 \text{ mm}$ große Blechsausschnitte auf dem TriboSpeedster. Wie Diagramm (Abbildung 13) abgebildet, stiegen die Reibwerte von 0,27 bei ebenen Vollblech auf bis zu 0,49 bei gemusterten Blechen. Auf Grund dieser durchweg negativen Ergebnisse wurden keine weiteren Versuche hinsichtlich der Blechgestaltung durchgeführt. Lochbleche wurden in Betracht des Schüttguteinsatzes nicht geprüft.

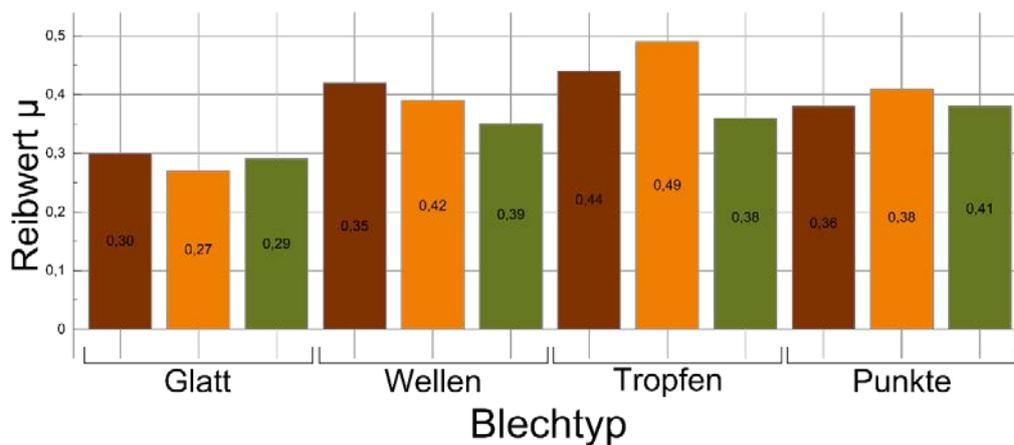


Abbildung 13. Reibwerte von drei ausgewählten Gleitgurtten gegen ein ebenes und welliges Blech, sowie gegen Tropfen- und Punktbleche

Tabelle 4. Ausgewählte Kunststoffe

Kunststoff	Bezeichnung	Bemerkung
PE-UHMW	Polystone M natur	Basis PE-UHMW
PE-UHMW	Polystone M slide	verbesserte Gleiteigenschaften
PE-UHMW	Polstone MR	Regenerat, günstig
PE-UHMW	Matrox	als Auskleidung für stark abrasiv beanspruchte Flächen, nicht gleitoptimiert
PE-UHMW	LubX C	verbesserte Gleiteigenschaften gegen POM
PE-UHMW	LubX S	verbesserte Gleiteigenschaften gegen Stahl
POM	Sustarin C GLD 160	POM Copolymer, gleitoptimiert
PET	Sustadur PET GLD 130	PET, gleitoptimiert, teuer

2.3.3 AUSWAHL DER GLEITPAARUNG FÜR DIE ABSTÜTZUNG IM UNTERTRUM

Für die Untersuchungen der Gleitpaarung im Untertrum wurden die Paarungen PE-Stahl, PE-POM und POM-Stahl geprüft. Für die Vergleichbarkeit wurden die Kunststoffe aus dem Sortiment der *Gebr. Röchling KG* eingesetzt. Die für die Untersuchung ausgewählten Kunststoffe sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Als weiteren Gleitpartner wurden 2 mm starke V2A-Stahlbleche (1.4301) verwendet. Dieser nichtrostende Stahl wurde ausgewählt um von der Lagerung unabhängig, gleichbleibende Ergebnisse zu erzielen. Zur Weiteren Annäherung an die im Dauereinsatz blank geschliffenen Gleitbleche aus S235JR wurden die Probekörper in Längsrichtung gebürstet. Sie wiesen danach in Querrichtung eine Rauigkeit von $R_z = 7,2 \mu\text{m}$ und ein $R_a = 0,6 \mu\text{m}$ auf. Kunststoffplatten werden meist in standardisierten Dicken durch Pressen hergestellt. Das hat den Nachteil, dass die Platten durch ungleichmäßige Abkühlung Dickenunterschiede aufweisen. Durch abhobeln beider Seiten erhalten die Platten ihre Verkaufsdicke. Die bei den Versuchen eingesetzten 10 mm dicken Proben sind Ausschnitte aus einer großen Platte und zeigten ungleichmäßig, ausgerichtete Hobel Spuren. Die Platten wurden daher vor der Prüfung finiert. Das Finieren ist eine aus dem Holzbereich kommende Endbearbeitung. Dabei wird das Holz an einem stehenden Messer abgeschält. Da sehr wenig Reibwärme induziert wird eignet sich dieses Verfahren sehr gut zur Oberflächenveredelung von Kunststoffen. [Kay-13] Das Finieren wurde wie bei den Stahlprobekörpern in Längs-/Gleitrichtung durchgeführt.

Die Untersuchung am *TriboSpeedster* wurden mit einer vorgegebenen Normalkraft von 20 N und einer sich damit ergebenden Flächenpressung von $p = 0,133 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ durchgeführt. Niedrigere Pressungen sind an diesem Versuchsstand bei gleichzeitig hoher Wiederholgenauigkeit und geringen Fehler nicht möglich. Dieser gewählte Wert entspricht der 10 fachen Pressung am Versuchsstand. Gleichzeitig ist bekannt, dass bei niedrigeren Pressungen

der adhäsive Anteil der Reibkraft verringert wird, kleinere oberflächennahe Verformungen auftreten und somit auch ein niedrigerer Verschleiß auftritt. [Erh-08]

Die Paarung des Basis PE-UHMWs gegen POM beziehungsweise Stahl ergaben Reibwerte von $\mu = 0,32$ und $\mu = 0,37$. Gegen POM erreichten die Kunststoffe *Polystone M slide* und *Matrox* mit $\mu = 0,38$ und $\mu = 0,41$ leicht erhöhte Werte im Vergleich zum Basiswerkstoff. Beim verschleißoptimierten *Matrox* lag der Reibwert zu Beginn der Messung bei $\mu = 0,2$ und vergrößerte sich nach fünf beziehungsweise sieben Stunden auf $\mu = 0,4$ (Abbildung 14). Obwohl nur ein minimaler Verschleiß an der *Matrox*-Oberprobe erkennbar war muss diese bei dieser Geschwindigkeit und Pressung überlastet worden sein. Die Kontakttemperatur stieg in gleicher Zeit auf 39°C . Dies ist jedoch weit unter der Erweichungstemperatur wodurch auf eine mechanische Überlastung des *Matrox*-Gefüges geschlossen werden kann. Ähnliches konnte man bei der Prüfung gegen Stahl oder PET erkennen. Während eine Probe einen niedrigen Reibwert von $\mu = 0,25$ aufwies, zeigten andere typische Überlastungsanzeichen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Versuchsparameter eine Grenzbelastung für *Matrox* darstellen und eine minimale Erhöhung der Geschwindigkeit oder Pressung auch Überlastungserscheinungen zeigen. Er ist daher abseits seines Bestimmungsgebietes für Gleitreibungsanwendungen nicht oder nur bei sehr kleinen Belastungen zu empfehlen. Die Untersuchungen der Gleiteigenschaften mit einem Wasserfilm, zeigten bei allen Paarungen mit dem unpolaren Polyethylen niedrigere Reibwerte als im trockenen Zustand. Die Reibwerte lagen bei $\mu = 0,11 \dots 0,18$. Wie man am Beispiel in Abbildung 15 sehen kann, tritt der niedrige Reibwert nur auf, wenn sich ein Wasserfilm ausgebildet hat. Ungefähr bei Minute 7, bei Bahn 1 ist zu erkennen, dass das Wasser verdunstet oder aus der Gleitzone verdrängt wurde und der Reibwert leicht über das Trockenreibniveau angestiegen ist. Bei Zugabe von Wasser in Minute 17 fällt dieser sofort wieder ab. Ähnliches ist bei den anderen Paarungen zu erkennen.

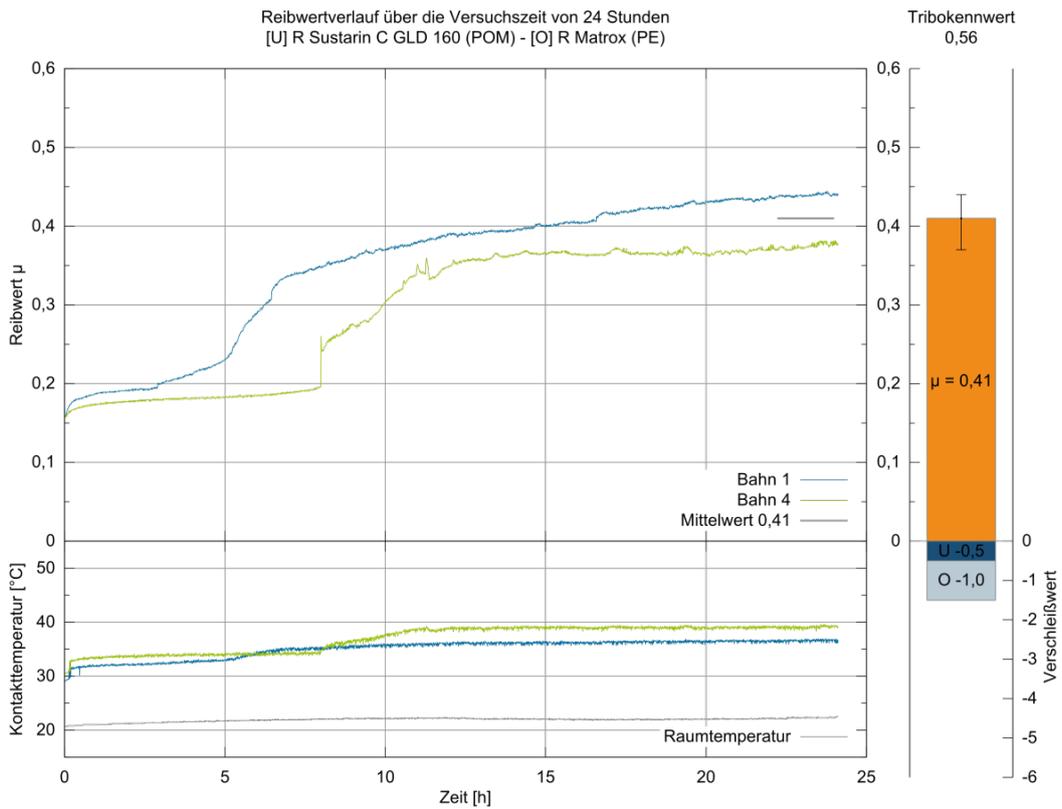


Abbildung 14: Überlastungserscheinung beim Reibwertverlauf von POM gegen Matrox

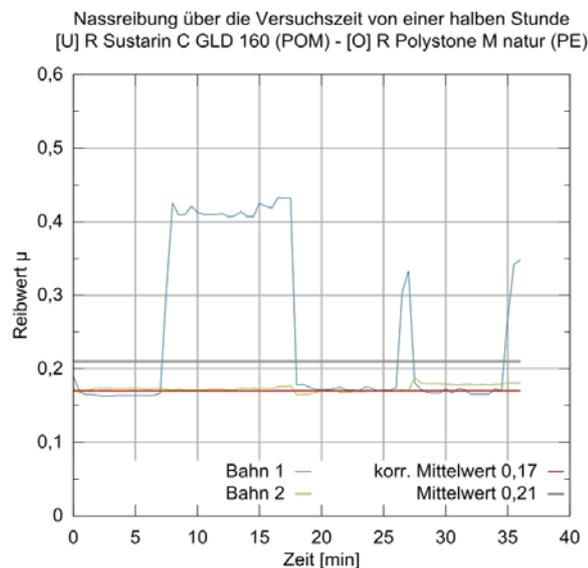


Abbildung 15: Reibwertverlauf von POM gegen Polystone M natur mit Phasen von Wasserzugabe

Entgegen den zuvor genannten Ergebnissen ist der Nassreibwert bei POM gegen Stahl höher als im Trockenzustand. Dies ist auf die hohe Polarität von POM gegenüber

PE zurückzuführen. Ein Aufquellen und dadurch eine Dickenzunahme und die Erhöhung der Pressung konnte während des Versuchszeitraums nicht gemessen werden.

Tabelle 5. Verschleiß ausgewählter Materialien

	Sustarin C GLD 160		Polystone M natur		Polystone MR		Matrox	
	Dicke	Gewicht	Dicke	Gewicht	Dicke	Gewicht	Dicke	Gewicht
0 - 2h	5,66%	6,19%	0,94%	0,45%	2,09%	1,93%	0,72%	0,49%
2 - 4h	5,47%	5,35%	0,34%	0,43%	1,07%	1,16%	0,35%	0,35%
Gesamt	10,82%	11,21%	1,27%	0,88%	3,13%	3,07%	1,07%	0,83%

Die Haftreibungskoeffizienten liegen bei den meisten Paarungen nach einem 24-stündigen Dauerversuch deutlich höher als zuvor. Man kann dies durch den Abtrag der Rauheitsspitzen erklären, da dadurch der adhäsive Anteil der Reibkraft ansteigt. [Erh-08] Davon ausgenommen sind die *LubX*-Paarungen, *Polystone MR* gegen Stahl sowie POM gegen Stahl. Diese weisen ein niedrigeres Niveau auf. Die Messwerte, welche nach dem Dauerversuch mit einem Wasserfilm aufgenommen wurden, zeigen im direkten Vergleich eine Absenkung des Haftreibwertes. Bei POM gegen Stahl wurde wie beim Gleitreibwert ein starker Anstieg des Haftreibwerts ermittelt. Keine Paarung zeigt in den drei Versuchen Zeichen eines Stick-Slip-Effektes.

2.3.4 VERSCHLEIßUNTERSUCHUNG

Eine Verschleißprüfung wurde nach der amerikanischen Norm ASTM G75-01 durchgeführt. [ASTM-G75] Es wurden die vier Roehling-Werkstoffe Sustarin C GLD 160 (POM), Polystone M natur (PE), Polystone MR und Matrox (PE) getestet. POM zeigte sich im Vergleich zu PE in den Tribologieversuchen als besonders verschleißfest. Die drei Polyethylene wurden auf Grund ihrer charakteristischen Eigenschaften ausgewählt. Polystone M natur soll als Grundmaterial mit dem Regenerat Polystone MR und dem als besonders verschleißfest, beworbenen Matrox verglichen werden. Bei diesem Versuch wird eine Verschleißprobe in einer mit Abrasivmitteln gefüllten Wanne oszillierend bewegt. Für den Versuch wurde ein Quarzsand mit dem Korndurchmesser 0,1 ... 0,3 mm als Abrasivgut eingesetzt. Die Proben wurden zweimal 2 Stunden bei 20 $\frac{m}{min}$ im Abrasivgut verfahren.

Wie die Tabelle 5 zeigt, verliert POM innerhalb von vier Stunden 11% seiner Dicke und seines Gewichtes. *Polystone M natur* und *Matrox* liegen bei circa einem Prozent und das PE-Regenerat bei 3%. Es zeigt sich, dass *Matrox* im Vergleich zur Polyethylenbasis *Polystone M natur* nur unwesentlich verschleißbeständiger ist. Bei Polystone MR zeigt sich, dass der Abrasivverschleiß durch das inhomogen in einer PE-Matrix eingebundene PE-Regenerat um das Dreifache höher ausfällt. Es ist anzunehmen, dass die Quarzkörner ganze PE-Regenerat-Partikel aus der Matrix lösen.

3 AUSWERTUNG, EINSATZBEWÄHRUNG

Der im Projekt entwickelte Versuchsstand sollte alle Funktionen eines Gleitgurtförderers enthalten. Um ein Verhalten des Fördergurtes und des Fördergutes zu erzielen, welches nah an die realen Einsatzbedingungen heranreicht ist der Versuchsstand einem realen Förderband nachempfunden, welches einen Achsabstand von 5 m und eine Gurtbreite von 500 mm aufweist. Die Abbildung 16 zeigt einen Schnitt durch das Versuchsförderband.

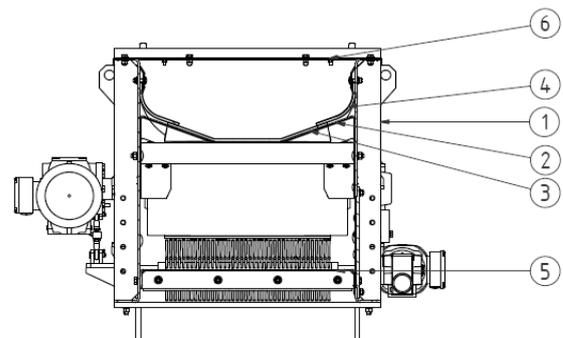


Abbildung 16: Der Einsatz von Gleitblechen im Untertrum soll den Wartungsaufwand, der durch Unterbandrollen entsteht minimieren.

Der Schnitt durch das Mittelelement zeigt die einzelnen Komponenten. Die Seitenwangen (1), eine geschweißte Blechkonstruktion, bilden den Rahmen des Förderbandes. Das Gleitblech (2), auf dem der Gurt (3) gemuldet wird, dient neben der Führung des Gurtes der Querstabilität des Rahmens. Die Materialseitenführung (4) aus Gummi hat die Aufgabe, das Fördergut seitlich abzuweisen, damit kein Material zwischen Gurt und Gleitblech gelangt. Auf dem höhenverstellbaren, unteren Gleittisch (5) wird der Rücklauf des Gurtes gewährt. Zum Eingreifschutz und zum Schutz vor Verwitterung ist das Förderband komplett abgedeckt (6).

Der Gurt ist mit einem dreiteiligen, muldungsfähigen Profil versehen, welches in einem Abstand von 600 mm auf dem Gurt vulkanisiert wurde. Während dieser Abstand im Obertrum für den geforderten Volumenstrom bei steigender Förderung notwendig ist, könnte für die Abstützung im Untertrum ein größerer Abstützabstand gewählt werden. Dieser Abstand wäre nur vom Gurtdurchhang zwi-

schen den Profilen abhängig, vergleichbar dem Tragrollenabstand gewöhnlicher Förderer im Rücktrum.

Auf Grund des mittleren Gleitreibungswiderstands, der hohen Verschleißbeständigkeit und den geringen Kosten für PE-UHMW ohne spezielle Additive wurde für die Versuche die Gleitpaarung *Röchling Polystone M natur* als Mitnehmer und ein *S235JR* als Gleitblech eingesetzt. Nach bisher mit dem Versuchstand pro Gleitelement gefahrenen 500 km konnte ein Abtrag von weniger als einem Zehntel Millimeter gemessen werden. Das entspricht einer möglichen Laufleistung unter geringer Belastung von 100.000 km oder 27.000 Einsatzstunden bei $1 \frac{m}{s}$. Diese Werte müssen unter Realbedingungen im Einsatz noch validiert werden.

Die Untersuchungen zeigten außerdem, dass die Mitnehmer mit ihren Gleitelementen auch als Reinigungsinstrument im Untertrum genutzt werden können. Wie in Abbildung 17 dargestellt, werden Reste, welche sich erst im Untertrum vom Band lösen, von den Mitnehmern ähnlich eines Trogkettenförderers transportiert. Je nach Ausführung können die Schüttgutreste am Bandanfang ausgeschleust werden oder durch eine Weiterführung der Gleitbleche wieder dem Gutstrom zurückgeführt werden. Das

Gleitblech muss auf Grund der Spannstation in der Umlenkrolle verschiebbar ausgeführt sein.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Durch den Einsatz einer gleitenden Abstützung im Ober- und Untertrum kann in vielen Fällen auf wartungsintensive Trag- und Stützrollen verzichtet werden. Die Höhe der Gleitelemente kann mit einfachen Messungen überprüft werden. Die Wartungskosten können ebenso minimiert werden.

Durch den Wegfall der Rollen können die Gurtförderer kompakter und von der Außenwelt gekapselt aufgebaut werden. Neben einer Minderung der Staub- und Lärmemission, kann das Schüttgut so von äußeren Wetterbedingungen unabhängig transportiert werden.

Schüttgutreste, welche sich bei Standardgurtförderern unterhalb der Maschine ansammeln, können durch die Mitnehmer und Gleitelemente im Untertrum gezielt zum Anfang der Förderstrecke transportiert oder durch angepasste Gleitbleche wieder zum Obertrum geführt werden.

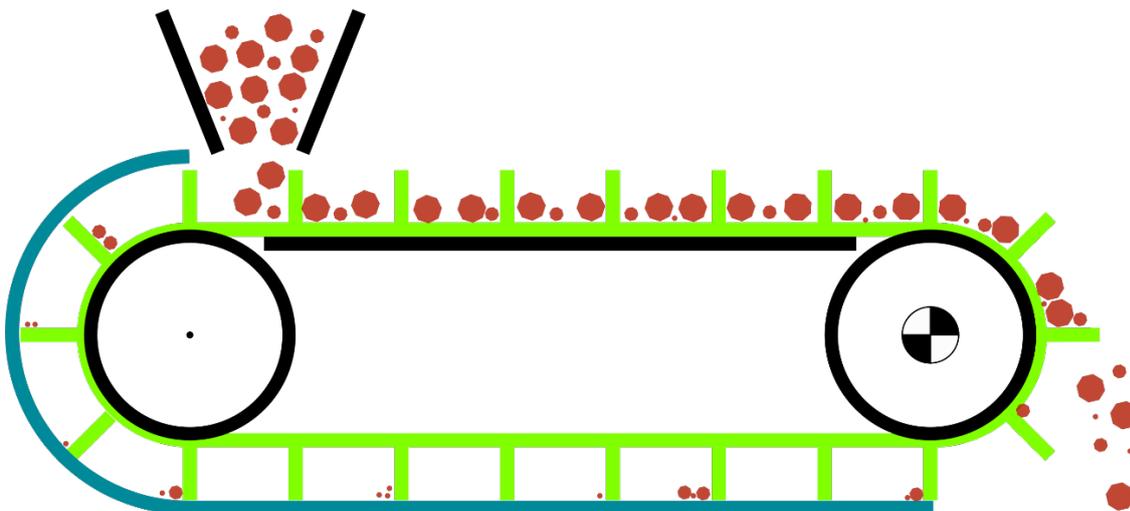


Abbildung 17: Untertrumreinigung

- Literatur:
- [All-08] R. Alles, W. Ernst, W. Lubrich, G. Böttcher, H. Simonsen und H. Zintarra: *Fördergurte - Berechnungen*, 4. Hrsg., Northeim: ContiTech Transportband-systeme GmbH, 2008.
- [Bor-12] Borema Umwelttechnik AG: *Gleitgurtförderer* [Online] <http://borema.contento.ch/c/Deutsch/Produkte/F%C3%B6rdertechnik.aspx?autoid=97> [Zugriff 27.02.2012].
- [Con-10] ContiTech AG: *MAXOFLEX Senkrechtfördergurte*, 2010. [Online] http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/MAXOFL_EX_WT7406_de.pdf [Zugriff 10.04.2013].
- [Con-13] ContiTech AG: *CONTI® Steilfördergurte mit Profil*, 2013. [Online] http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/cbgmining/mining_stahlseil_steilfoerdergurt_de.html [Zugriff 10.04.2013]
- [Erh-08] G. Erhard: *Konstruieren mit Kunststoffen*, 4 Hrsg., München: Carl Hanser Verlag, 2008
- [For-12] Forbo Siegling: *AmpMiser – Energie-sparende Transportbänder*, 09.02.2012. [Online]. Available: http://www.forbo-siegling.com/de/pages/brochures/special/download/238-fms_amp_miser_energiesparend_de.pdf. [Zugriff 05 03 2012]
- [Ges-00] G. Gesche: *Fördereinrichtung*. Patent DE 10017159 A1, 6 April 2000
- [HiR-00] HiRoller Enclosed Belt Conveyors: *HiRoller Models 18 through 54*, 05.05.2000. [Online] <http://www.hiroller.com/PDF/HiRoller.pdf>. [Zugriff 27.02.2012].
- [Jän-04] H. Jänsch: *Gleitgurt*, 01.03.2004. [Online] <http://www.jaensch-foerderanlagen.de/html/gleitgurt.html>. [Zugriff 27.02.2012].
- [Jon-71] C. O. Jonkers: *Bandförderer und Verfahren zum Betreiben desselben*, Patent DE 2119553 A, 16 April 197
- [Kay-13] Werner Kaysser Maschinen & Werkzeuge: „*Warum finieren?*“ [Online] <http://www.kaysser.com/Warum%20finieren.htm>. [Zugriff 22.04.2013]
- [Kes-07] F. Kessler: *Gurtförderer*, in Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Hrsg., Berlin, Springer Verlag, 2007, pp. U58-U67.
- [Lel-43] H. Lelgemann: *Endloses Förderband*, Patent DE 891525 B, 10 Juni 1943
- [Rei-09] Reiff GmbH: *Technische Produkte: Keilriemen, Flachriemen, Fördergurte*, 24 April 2009. [Online] http://www.reiff-tp.de/uploads/media/Kapitel_4_Keilriemen_Flachriemen_Foerdergurte.pdf. [Zugriff 27.01.2012]
- [Str-05] J. Strunk und U. Fath: *Fördervorrichtung*. Deutschland Patent DE 102005041523 A1, 31 08 2005
- [Wef-13] Wefapress Beck + Co. GmbH: *Kettenführungen*, [Online] <http://www.wefapress.com/content/kettenfuehrungen>. [Zugriff 20.04.2013].
- [ASTM-G75] ASTM International: *Standard Test Method for Determination of Slurry Abrasivity (Miller Number) and Slurry Abrasion Response of Materials (SAR Number)*, ASTM G75-01, USA, 2001
- [VDI-2322] VDI Verein Deutscher Ingenieure: *Gurtförderer für Schüttgut - Übersichtsblatt (VDI 2322)*, Berlin: Beuth Verlag, 2003-10
- [DIN 22101] DIN Deutsches Institut für Normung: *Stetigförderer - Gurtförderer für Schüttgüter - Grundlagen für die Berechnung und Auslegung (DIN 22101)*, Berlin: Beuth Verlag, 2011-12

Dipl.-Ing. André Riedel

Research Assistant at the Professorship of Materials Handling and Conveying Engineering, Technische Universität Chemnitz.

André Riedel was born 1984 in Karl-Marx-Stadt (now Chemnitz, Germany). Between 2004 and 2011 he studied Mechanical Engineering at Technische Universität Chemnitz.

Dr.-Ing. Thomas Linke, Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel

Address: Professur Fördertechnik, Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz, Germany,

Phone: +49 371 531-39934, Fax: +49 371 531-8-39934,
E-Mail: andre.riedel@mb.tu-chemnitz.de
www.tu-chemnitz.de/mb/FoerdTech/sgfht/

**Dipl.-Ing. André Schirmer,
Dipl.-Ing. Thomas Mauersberger**

Address:
fömat GmbH
Fördertechnik und Maschinenbau Thum
Am Bahnhof 4 und 5
09419 Thum

Das Projekt wurde durch die Europäische Union und den Freistaat Sachsen im Rahmen des “Europäischen Fonds für regionale Entwicklung” gefördert.



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.

EFRE

Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

