

Gestaltung und Auslegung eines Prüfstandes zur Bewertung von Verschleiß an Materialoberflächen in Schüttgutwendungen

Design and layout of a test stand for the evaluation of wear on surfaces of materials in bulk applications

Andreas Müller
André Riedel
Enrico Putzke
Kay Cramer

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

Mit anerkannten Prüfverfahren für technische Textilien auf Verschleiß können nur unbefriedigende Ergebnisse erzielt werden. In dieser Arbeit wurde daher ein Versuchsstand konzipiert, der den zu erwartenden Verschleiß unter Einsatzbedingungen abbilden soll. Das zum Einsatz kommende Kippprinzip erzeugt durch wechselweise Neigung in Längsrichtung eine Bewegung des Abriebmittels und simuliert die damit zu prüfende Abriebwirkung. In ersten Versuchen wurden Polyester-Textile mit und ohne Beschichtungen und unterschiedliche Schüttgüter getestet. Aus diesen Ergebnissen können erste Schlussfolgerungen, über die Notwendigkeit und Beschaffenheit von Beschichtungen gezogen werden. Durch weitere Versuche soll der Versuchsstand und das Prinzip verifiziert werden.

[Schlüsselwörter: Verschleiß, technische Textilie, Schüttgut, Kipprinne]

Known testing methods, to determine wear of currently used engineered textile material, only gave unsatisfactory results. So it became necessary to design a test bench to demonstrate wear under close-to-real application conditions. The used principle is achieved by alternately changing the angle of inclination of the bulk material, which causes the material to move and hence produces wear. In basic experiments polyester based textiles, with and without coating and different bulk materials were tested. From these tests, conclusions can be made, regarding the necessity of coatings and conditions. To verify the principle and the testing equipment successfully, further experiments must be carried out.

[Keywords: wear, technical textile, bulk material, tipping through]

1 EINLEITUNG

Durch die stetig steigenden Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit und Flexibilität der Schüttgutlagerung müssen neue Wege und Materialien in der Konzeptionierungsphase mitberücksichtigt werden. Dieser Problematik stellt sich die TU Chemnitz, Professur Fördertechnik in unterschiedlichen Projekten. Eine Vielzahl analysierter Anwendungen von textilen Silos bis hin zu etablierten Rohr- und Kratzerkettenförderern belegt, dass mit den konventionell eingesetzten Materialien Einsatzgrenzen erreicht wurden, die durch neue intelligente Tragmittel bzw. eine hybride Bauweise aufgebrochen werden müssen. Durch eine gezielte Funktionstrennung in eine schützende, das Schüttgut führende Wandung und eine lasttragende, hochfeste Trag- bzw. Stützstruktur könnte die Möglichkeit geschaffen werden, wesentlich größere Schüttgutmengen als bisher zu transportieren und/oder die Standzeiten der Fördererelemente zu erhöhen. Anlass für die vorgestellte Entwicklung war, dass die für die Wandung von Textilsilos zum Einsatz kommenden Materialien (Gewebe aus synthetischen Polymeren), mit anerkannten Prüfverfahren auf Verschleiß (Scheuerprüfung nach DIN 53863, Bestimmung der Scheuerbeständigkeit nach Martindale Verfahren DIN EN ISO 12947, Bestimmung der Abriebfestigkeit von Material für Schutzkleidung nach DIN EN 530, Reibradverfahren ASTM G65) nur unbefriedigend getestet werden konnten. Aus den Ergebnissen konnte keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Lebensdauer gezogen werden. Es wurde nötig ein Versuchsstand zu konzipieren, der den zu erwartenden Verschleiß unter Einsatzbedingungen abbildet. Als Vorlage diente hier die DIN EN 295-3, in der für die Prüfung der Abriebfestigkeit von Steinzeugrohrsystemen ein Prüfstand nach dem Prinzip „Kipprinne“ zum Einsatz kommt. Durch wechselweise Neigung in Längsrichtung entsteht eine Bewegung des Abriebmittels und simuliert die damit zu prüfende Abriebwirkung durch Wasser / Sand.

2 VORVERSUCHE

Es wurden an textilen Flächengebilden die bereits beschriebenen Prüfverfahren getestet. Mit dem Reibradverfahren (Trockener Dreikörperabrasivverschleiß) nach ASTM G65 [AST65] werden metallische und Kunststoff Materialien mit dem Verschleißstoff Sand auf abrasiven Verschleiß geprüft (Abbildung 1).

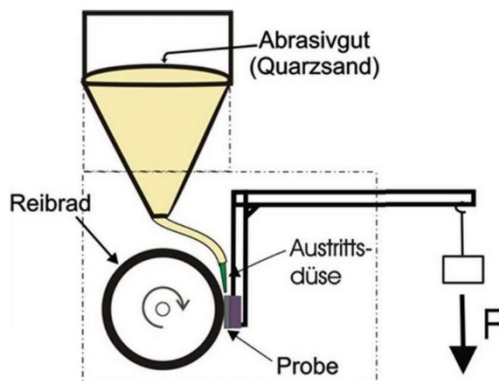


Abbildung 1. Reibrad Versuch

Der Verschleiß wird durch den Volumenverlust der Proben bestimmt. Nach diesem Verfahren wurden in Vorversuchen Polyester-Gewebe geprüft. Dabei zeigte sich, dass die Einwirkung auf die Proben zu groß und schon nach kurzer Zeit das PES-Gewebe zerstört war, siehe Abbildung 2. Als Vergleichsprobe wurde ein synthetische Kautschuk (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk, „Gummi“) geprüft, der standardmäßig bei Gurtbandfördern zum Einsatz kommt.



Abbildung 2. PES-Gewebe und Gummi

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse aufgeführt. Zur Erklärung, bei Versuch 3 wirkt eine Kraft von 110 kg/dm², was einer Schüttguthöhe bei Sand (fein, trocken, 1,3 kg/dm³) von ca. 9 m entspricht das auf dem Gewebe 50 m zurücklegt.

Tabelle 1. Versuchsergebnis Rubberwheel

Nummer	Kraft [N]	Strecke [m]	Druck [N/m ²]	Reibradauflagefläche [mm ²]	Material
1	45	50	253093,4	177,8	PES-Gewebe
2	20	100	112485,9	177,8	PES-Gewebe
3	20	50	112485,9	177,8	PES-Gewebe
4	20	50	112485,9	177,8	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk 70 shore

Als weitere Vorversuche wurden mit dem Prüfgerät nach Martindale die oben bereits beschriebenen Polyester Gewebe auf Verschleiß geprüft. Als Scheuermittel wurde Finishing-Papier mit der Körnung 180 benutzt, mit einer Prüfkraft von 9,2 kg/dm² (9000 Pa). Die Scheuerprüfung wurde durchgeführt, bis zur Zerstörung von mindestens 2 Fäden, was nach 50 Scheuertouren bereits auftrat. Durch Beschichtungen konnte die Anzahl der Scheuertouren auf das 10 bis 100-fache erhöht werden. Es ist festzuhalten, dass der Reibradversuch nur für dickere Materialien geeignet ist und nicht für technische Textilie. Durch das Prüfgerät nach Martindale konnte die Scheuerbeständigkeit von technischen Textilien und zusätzlichen Beschichtungen geprüft werden. Jedoch können hieraus keine Rückschlüsse auf den praktischen Einsatz der technischen Textilie mit den unterschiedlichsten Schüttgütern abgeleitet werden. Deshalb war es nötig eine neue Art der Prüfung zu erarbeiten und mit vorhandenen zu vergleichen.

3 KONSTRUKTION

Durch Übernahme dieses Kippprinzips nach DIN EN 295-3 [DIN07] wurde ein Versuchsstand konstruiert. Als Abriebmittel können hier alle möglichen Arten von Schüttgut verwendet werden, die auch im späteren Einsatz mit den getesteten Oberflächen in Berührung kommen. Lastwechsel, der Kippwinkel (abhängig vom Schüttwinkel) und die Frequenz können hier variiert werden. Um eine Schüttguthöhe oder verschleißfördernde Bewegungen von Ein-, Austrags- und Fördergeräten zu simulieren, wurde zusätzlich eine lineare Verschiebeeinheit an der Oberseite installiert, siehe Abbildung 3.



Abbildung 3. Kipprinne Vorderseite

Die Konstruktion des Versuchstandes wurde einfach gehalten, um nachträgliche Änderungen oder zusätzliche Anbauteile zu realisieren. Für den Unterbau und den Aufnahmekorb wurden Quadratrohrnormprofile benutzt. Über Pleule und Kugellager wird die Drehbewegung des Motors auf Korb und Linearverschiebeeinheit übertragen, was eine homogene Bewegung garantiert, siehe Abbildung 4.

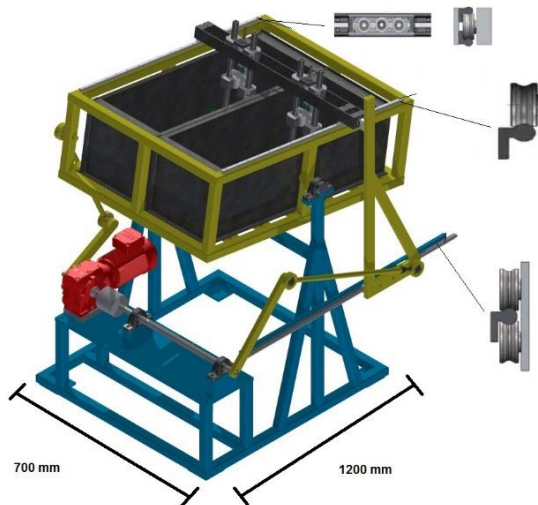


Abbildung 4. Kipprinne Linearantrieb

Als Antrieb wurde ein Motor mit Schneckenradgetriebe verwendet:

- Leistung: 0,55 kW
- Drehzahl: 16 U/min
- Drehmoment: 205 Nm

Mithilfe einen Frequenzumrichter kann die Drehzahl des Motors zwischen 0 und 16 U/min stufenlos eingestellt werden.

Mit der linearen Verschiebeeinheit wird aus der Rotationsbewegung des Motors eine lineare Bewegung erzeugt,

um eine gleichmäßige Schüttgutbewegung zu erreichen. Über Laufrollen und Schienen wird diese Einheit bewegt, was einen kostengünstigen und wartungsarmen Betrieb begünstigt. An der Verschiebeeinheit können die unterschiedlichsten Arten von Förderelemente installiert und geprüft werden, zum Bsp. Ketten, Seile, Rollen, Räder, die in den Kontakt mit Schüttgutströmen kommen. Dies ermöglicht die Untersuchung des Drei-Körper-Verschleißes bspw. in einer Förderrinne eines Kettenförderers. Um mögliche Auflasten oder Gewichte zu simulieren, lässt sich die Normalkraft über eine Feder einstellen. Damit lassen sich innerhalb weniger Zeit viele Betriebsstunden eines realen Förderers nachbilden. In einer zweiten Variante lässt sich das zu Prüfende Elemente ohne Kontakt zur Außen- oder Bodenwand aufhängen. Damit ließ sich das Verschleißverhalten, an im Schüttgutstrom hängenden Maschinenelementen, überprüfen. In Abbildung 5 ist der fertiggestellte Prüfstand, samt Schutzumhausung zu sehen.



Abbildung 5. Prüfstand-Kipprinne

4 BERECHNUNGEN

Um die Kräfte (Abbildung 6) zu berechnen, die während der Versuche zwischen den zu prüfenden Materialien auftreten, werden folgende Vorüberlegungen getroffen. Zwischen dem festeingespannten Schüttgutträger und dem losen Schüttgut liegen zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Kontaktarten vor. Rollkontakt, tangentialer kontakt und Gleitkontakt. Diese erzeugen wiederum Reibung (Rollreibung, Gleitreibung, Grenzreibung).

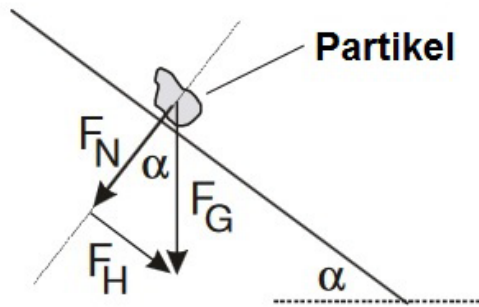


Abbildung 6. Kräfteverhältnis geneigte Ebene

Während der Kippbewegung durchlaufen die Partikel die einzelnen Reibungsarten. Der dadurch entstehende Verschleiß wirkt zwischen den Schüttgutpartikeln und dem Schüttgutträger. Zur Bestimmung des Wandreibungskoeffizienten von Sand (Korngröße < 1mm) und PES Gewebe wurden mit der Ringscherzelle RST-01.01. nach Schulze Versuche durchgeführt und ergaben $\mu_w = 0,5$. Für Weizen und andere geprüfte Getreidesorten ergeben sich halb so große Werte. Der Haftreibungskoeffizient ist vom Schüttwinkel abhängig, somit muss die Kipprinne auf den jeweiligen Schüttwinkel verstellbar sein, was unterschiedliche Pleuellängen zur Folge hat. In folgender Tabelle 2 sind für zwei Pleuellängen die jeweiligen Kräfte und Massen, die durch den Motor maximal bewegt werden können, berechnet.

Tabelle 2. Kräfte und Momente des Kipprinnen-Antriebs

Motordrehmoment	Nm	205	205
Hebelarm (Pleuellänge)	m	0,201	0,275
Kipprinnenwinkel	°	22,5	35
Kraft	N	1019,90	745,45
Masse	kg	103,97	75,99

Durch die Hubbewegung des Motors muss die Gewichtskraft des Schüttguts (F_s) kleiner der Kraft sein, die durch das Pleuel (F_p) übertragen wird, Abbildung 7. Bei dieser Berechnung sind der linear Antrieb und Reibungsverluste nicht berücksichtigt und dient deshalb nur zur Abschätzung der verwendbaren Schüttgutmengen.

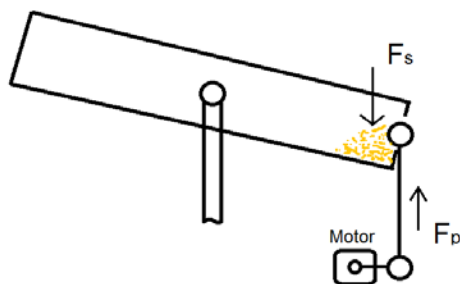


Abbildung 7. Kräfteverhältnis Kipprinne

Tabelle 3. Ergebnisse Kipprinnenversuch

5 AUSWAHL DER VERSUCHSMATERIALIEN

Für die Charakterisierung des mechanischen und reibtechnischen Verhaltens wurden als erstes PES-Gewebe ausgewählt, mit und ohne Beschichtungen. Um die grundsätzliche Eignung des neuen Versuchstandes für einen Einsatz zu prüfen, wurden die zu prüfenden Textilien, wie oben beschrieben zuvor mit dem Prüfgerät nach Martindale geprüft. Dadurch soll neben unnötigen Versuchen auch ein Schaden oder zumindest ein erhöhter Rüstaufwand an den Versuchsstand vermieden werden. Als Additive kamen verschleiß- und UV-hemmende Materialien zum Einsatz. In den ersten Versuchen wurde als Verschleißmaterial Getreide(Weizen) und Stahlschrott verwendet. In Zukunft sind alle möglichen Materialpaarungen denkbar, bei dem sich Schüttgut gegenüber einer Behälterfläche oder Förderelement bewegt.

6 VERSUCHE

Durch die Kippbewegungen kann der Füll- und Entleer Vorgang, sowie der Transport von Schüttgütern nun kompakt und unter kontrollierten Bedingungen nachempfunden werden.

In ersten Versuchen wurde die Verschleißeigenschaft von Weizen und Stahlschrott auf textile Gewebe ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 aufgeführt. Zu beobachten war, dass durch die Weizenkörner nur eine geringe Beanspruchung der Textilien erfolgte, siehe Abbildung 8. Eine zusätzliche Beschichtung wäre hier unnötig. Hingegen zeigte sich bei den Stahlschrauben ein deutlich erhöhter Verschleiß, auch wurden die getesteten, wässrig aufgetragenen PUR-Beschichtungen, durch die Einwirkungen bei der Kippbewegung abgetragen. Bei den technischen Textilien mit PUR-Dispersion war das nicht zu erkennen.



Abbildung 8. Kipprinne mit Weizen (links) und Stahlschrott (rechts)

Material	Scheuermittel	Beschichtung	Beschichtungs- auflage [g/m ²]	Zyklen	Ergebnis	Martindale Scheuertouren
PES- Siloge- webe	Weizenkörner	unbeschichtet		290.000	Textil aufgeraut	300
PES- Siloge- webe	Stahlschrau- ben/Muttern	unbeschichtet		100.000	Textil aufgeraut	300
PES- Siloge- webe	Stahlschrau- ben/Stanzstücke Bohremulsion	PUR- Beschichtung	75	40.000	Beschichtung abge- löst, Textil intakt	450
PES- Siloge- webe	Stahlschrau- ben/Stanzstücke Bohremulsion	PUR-Dispersion	100	40.000	Beschichtung intakt, Textil aus Befesti- gung gerissen	450

7 OPTISCHE BEWERTUNG

Wie bei bereits etablierten Verschleißprüfverfahren, erfolgt eine optische Auswertung der Versuchsergebnisse. Mithilfe von Mikroskoptechnik kann der Verschleiß anhand von Faserbrüchen bewertet werden. In folgender Abbildung 9 ist das Verschleißverhalten von Weizen und Metallschrott gegenübergestellt. Bei gleicher Zyklenzahl ist, wie zu erwarten, ein deutlich höherer Verschleiß durch das Metall zu erkennen.

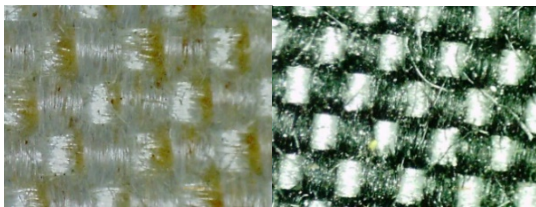


Abbildung 9. Faserbrüche bei Weizen (links) und Stahlschrott (rechts)

8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Ziel der Entwicklung war es, zu überprüfen, ob die Ergebnisse von bekannten Verschleißtests (vorrangig Scheuerversuch nach Martindale) auf reale Anwendungsfälle von Schüttgutträgermaterialien übertragbar sind. Durch die Errichtung eines Versuchstandes und erster Versuche wurde diese Annahme noch nicht bewiesen. Aus den durchgeführten Untersuchungen kann resultierend festgehalten werden:

- Andere Reibungsarten und Kräfte wirken als bei herkömmlichen Versuchen,
- durch Rückstände von Schmiermitteln ergeben sich andere Systeme (Adhäsion, Flüssigkeitsreibung),

- anstatt nur abrasiven Verschleißes tritt auch adhäsiver Verschleiß, Oberflächenermüdung und eventuell korrosiver verschleiß auf

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse müssen sich weitere Versuche mit unterschiedlichen Materialpaarungen anschließen, die sich Schwerpunktmäßig mit der Fragestellung befassen, inwiefern sich der Verschleiß durch die Versuche mit den tatsächlichen Verschleißmechanismen durch Schüttgut deckt. Besonders Versuch bis zum Bauteilversagen mithilfe von stark schleißenden Materialien sollten zur weiteren Verifizierung des Versuchstandes durchgeführt werden.

LITERATUR

- [AST65] ASTM Standard G 65 - 94: Standard Test method for using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. USA, 1994
- [DIN07] DIN EN ISO 12947: Textilien - Bestimmung der Scheuerbeständigkeit von textilen Flächengebilden mit dem Martindale-Verfahren, Berlin 2007

Dipl.-Ing. Andreas Müller, Research Assistant at the Professorship of Materials Handling and Conveying Engineering, Technische Universität Chemnitz. Andreas Müller was born 1984 in Freiberg, Germany. Between 2004 and 2011 he studied Mechanical Engineering at Technische Universität Freiberg.

Tel: +49 371 531-31414, Fax: +49 371 537-831414, E-Mail: andreas.mueller@mb.tu-chemnitz.de

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.

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

Dipl.-Ing. Enrico Putzke, Research Assistant at the Professorship of Materials Handling and Conveying Engineering, Technische Universität Chemnitz. Enrico Putzke was born 1981 in Altdöbern, Germany. Between 2009 and 2011 he studied Mechanical Engineering at Technische Universität Chemnitz.

Phone: +49 371 531-37819, Fax: +49 371 531-8-37819,
E-Mail: enrico.putzke@mb.tu-chemnitz.de

Dipl.-Ing. Kay Cramer, Research Assistant at the Professorship of Materials Handling and Conveying Engineering, Technische Universität Chemnitz. Kay Cramer was born 1977 in Karl-Marx-Stadt, Germany. Between 1999 and 2007 he studied Mechanical Engineering at Technische Universität Chemnitz.

Phone: +49 371 531-37156, Fax: +49 371 531-8-37156,
E-Mail: kay.cramer@mb.tu-chemnitz.de

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

www.tu-chemnitz.de/mb/FoerdTech/sgfht/

Dieses Projekt wurde im Rahmen des ZIM-Verbundprojektes VP2515345MF3 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages