

als 50% wird. Hieraus resultiert, daß der nutzbare Bereich klein ist und die Kenntnis der Schüttdichte des zu fördernden Gutes vorauszusetzen ist, um eine gute Anpassung der Betriebsparameter und damit einen hohen Massedurchsatz zu realisieren.

### 5. Zusammenfassung

Für Rohrkettenförderer ist ein kontinuierlicher Abzug des Schüttgutes zu gewährleisten. Für bekannte Möglichkeiten wurde eine Systematik angegeben. Aus dieser wurden Förderschnecken zu Untersuchungen unter praktischen Bedingungen ausgewählt.

Diese Untersuchungen bestätigten, daß durch Förderschnecken

- Brückenbildungen verhindert werden
- der Massedurchsatz erhöht wird
- der volumetrische Füllungsgrad annähernd konstant ist.

Damit ist ihr Einsatz in Behältern von Rohrkettenförderern gerechtfertigt. Für die praktische Nutzung wird eine Förderschnecke mit den Hauptabmessungen  $d = 80$  mm und  $s = 40$  mm empfohlen. Die einzustellenden Betriebsparameter können einem Nogramm entnommen werden.

### Literatur

- [1] Rasniewski, H.: Untersuchungen am Rohrkettenförderer. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation 1984 (unveröffentlicht).
- [2] Wilhelm, R.: Untersuchungen an Antriebs- und Umlenkrollen einer Mitnehmerkette. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1985 (unveröffentlicht).
- [3] Leipnitz, P.: Erhöhung des Durchsatzes einer Rohrförderanlage mittels einer Zuführeinrichtung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1985 (unveröffentlicht).

A 5308

## Untersuchungen zum Gutaufgabewiderstand am Beispiel eines Rohrkettenförderers

Dipl.-Ing. P. Leipnitz, KDT, VEB Wissenschaftliches Zentrum Ferdinandshof,

Betrieb des VEB Ausrüstungskombinat für Rinder- und Schweineanlagen Nauen

Dr.-Ing. P. Grundmann, KDT/Prof. Dr. sc. techn. D. Rössel, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

### Verwendete Formelzeichen

$F_{N0}$	N	Normalkraft der Mitnehmer am Kettentrog
$F_{N1}$	N	Normalkraft des Gutes an den Mitnehmern
$F_{N2}$	N	Normalkraft des Gutes an der Mitnehmerkettenoberseite
$F_{N3}$	N	Normalkraft des Gutes im Kettentrog
$F_{N3/1}$	N	Normalkraft des Gutes an den senkrechten Wänden des Kettentrogs
$F_{N3/2}$	N	Normalkraft des Gutes im gewölbten Boden des Kettentrogs
$F_R$	N	Reibungskraft
$F_{WA}$	N	Bewegungswiderstand an der Gutaufgabestelle (Gutaufgabewiderstand)
$F_{WB}$	N	Bewegungswiderstand infolge Beschleunigung
$F_{WR}$	N	Bewegungswiderstand infolge Reibung
$g$	m/s	Fallbeschleunigung
$h$	m	Höhe
$i$		Anzahl
$K$		Geschwindigkeitsverhältnis
$l_M$	m	Länge eines Mitnehmerabschnitts
$l_T$	m	Länge des Kettentrogs (Gutaufgabehöhe)
$m_K$	kg/m	Masse der Förderkette, bezogen auf den Förderweg
$n$	U/min	Drehzahl
$P_A$	W	Leistungsbedarf an der Gutaufgabestelle
$Q_m$	kg/h	Massedurchsatz
$r_K$	m	Radius des angenommenen Kettenstabs
$r_M$	m	Radius des Mitnehmers
$r_T$	m	Radius des Kettentrogs
$s$	m	Steigung der Förderschnecke
$v$	m/s	Geschwindigkeit (vor der Gutaufgabe)
$v_0$	m/s	Anfangsgeschwindigkeit (nach der Gutaufgabe)
$v_G$	m/s	Geschwindigkeit des Gutes
$v_K$	m/s	Geschwindigkeit der Mitnehmerkette
$v_x$	m/s	axiale Geschwindigkeit der Förderschnecke
$W$	m	Wurfweite des Gutes
$\eta_V$		volumetrischer Füllungsgrad des Rohrkettenförderers
$\lambda$		Druckfaktor
$\mu$		Reibwert
$\rho_s$	kg/m	Schüttdichte
$\varphi_i$		innerer Reibwinkel des Gutes

thode der Summierung der Einzelbewegungswiderstände angewendet. Unabhängig von der Linienführung des Rohrkettenförderers wird davon ausgegangen, daß für gleiche Einsatzbedingungen der Bewegungswiderstand an der Gutaufgabestelle (Gutaufgabewiderstand) einen annähernd konstanten Wert hat, dessen Größe nicht bekannt ist.

In [1] sind bestehende Einzelbewegungswiderstände am Rohrkettenförderer in einer umfassenden Systematik enthalten. In dieser wird der Gutaufgabewiderstand durch folgende Beziehung gekennzeichnet:

$$F_{WB} = Q_m(v - v_0) \quad (1)$$

Damit werden nicht alle Anteile des Gutaufgabewiderstands erfaßt. Während des Gutaufgabeworgangs entstehen durch Reibung und Beschleunigung Kräfte, die der Zugkraft der Mitnehmerkette entgegenwirken. Somit gilt für den Gutaufgabewiderstand:

$$F_{WA} = F_{WR} + F_{WB} \quad (2)$$

Der erforderliche Leistungsbedarf für die Gutaufgabe ergibt sich aus

$$P_A = (F_{WR} + F_{WB}) v_K \quad (3)$$

### 2. Bewegungswiderstand infolge Reibung des Gutes

Die einzelnen Reibungskräfte wirken zwischen Mitnehmer und Kettentrog ( $F_{R0}$ ), Gut und Mitnehmer ( $F_{R1}$ ), Gut und Mitnehmerkette ( $F_{R2}$ ), Gut und Kettentrog ( $F_{R3}$ ) und innerhalb des Gutes ( $F_{R4}$ ).

Für die Berechnung der Reibungskräfte werden folgende vereinfachende Annahmen getroffen (Bild 1):

- Die Berührung der Mitnehmer im Kettentrog erfolgt punktförmig.
- Die Mitnehmerkette wird als runder stabförmiger Körper betrachtet, dessen Durchmesser der maximalen Kettengliedbreite entspricht.
- Dem Gut wird eine geradlinige Bewegung in Förderrichtung aufgezwungen. Damit entsteht ein vom Gut gebildeter Hohlzylinder, der nur auf die Vorderseite des Mitnehmers eine Kraft  $F_{N1}$  ausübt.
- Die auf die Mitnehmerkette wirkende

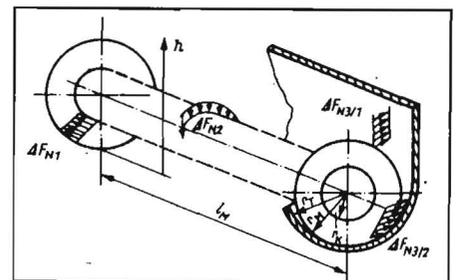
Kraft  $F_{N2}$  wird als die Zusammenfassung einer gedachten Streckenlast auf der Oberseite der Mitnehmerkette aufgefaßt.

- Die Gewichtskraft des Gutes unterhalb der Mitnehmerkette  $F_{N3/2}$  wirkt auf den Kettentrog.
- Für die Bestimmung der Kraft  $F_{N3}$  werden Wand- bzw. Bodendruck auf die vertikalen Wände bzw. den gewölbten Boden des Kettentrogs zugrunde gelegt, die sich durch die Rankinsche Gleichung [2] beschreiben lassen; zusätzliche Wirkungen infolge Staudruck werden vernachlässigt.
- Die Reibungskraft innerhalb des Gutes  $F_{R4}$  wird durch Stoffkenngrößen bei der Berechnung der Normalkräfte berücksichtigt.

Tafel 1. Zusammenstellung der Berechnungsgleichungen für die einzelnen Reibungskräfte

$F_{R0} = F_{N0} \mu$
$F_{R1} = i F_{N1} \mu$
$F_{R2} = i F_{N2} \mu$
$F_{R3} = (F_{N3/1} + F_{N3/2}) \mu = F_{N3} \mu$
$F_{N0} = m_K g l_T$
$F_{N1} = 2 r_M \rho_s g \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi_i}{2} \right) \pi (r_M^2 - r_K^2)$
$F_{N2} = \pi r_K \left[ h - \left( r_T + \frac{r_K}{2} \right) \right] l_M \rho_s g$
$F_{N3/1} = 2 \mu \rho_s g \lambda \frac{(h - r_T)^2}{2} l_T$
$F_{N3/2} = \mu \rho_s g \pi r_T^2 l_T$
$F_{N3} = \mu \rho_s g l_T [\lambda (h - r_T)^2 + \pi r_T^2]$

Bild 1. Modell zur Herleitung der Reibkräfte während der Gutaufgabe am Rohrkettenförderer (s. a. Tafel 1)



### 1. Problemstellung

Für Stetigförderer mit umlaufendem Zugorgan wird zur Berechnung des Gesamtbewegungswiderstands grundsätzlich die Me-

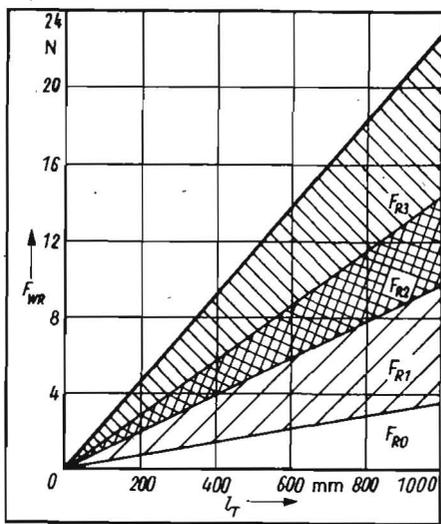


Bild 2. Theoretischer Bewegungswiderstand infolge Reibung  $F_{WR}$  für Weizen in Abhängigkeit von der Länge des Kettentrogs  $l_T$ ; Berechnung mit:  $l_m = 0,110$  m,  $h = 0,080$  m,  $r_k = 0,010$  m,  $r_m = 0,021$  m,  $r_T = 0,027$  m,  $\rho_s = 772$  kg/m<sup>3</sup>,  $m_k = 0,95$  kg/m,  $\mu = 0,38$

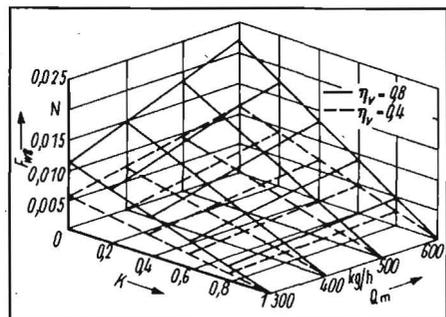


Bild 3. Theoretischer Bewegungswiderstand infolge Beschleunigung  $F_{WB}$  in Abhängigkeit vom Massedurchsatz  $Q_m$  und vom Geschwindigkeitsverhältnis  $K$  bei Gutaufgabe mit Hilfe der Gewichtskraft

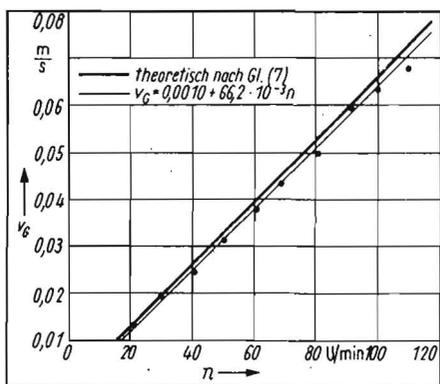


Bild 4. Geschwindigkeit des Gutes  $v_G$  in Abhängigkeit von der Drehzahl  $n$  der Förderschnecke (Durchmesser 80 mm, Steigung 40 mm)

In Tafel 1 sind für die einzelnen Reibungskräfte die Berechnungsgleichungen zusammengestellt, so daß für den Bewegungswiderstand infolge Reibung gilt:

$$F_{WR} = \sum_{i=0}^4 F_{Ri} \quad (4)$$

Nach dem Einsetzen der einzelnen Anteile in Gl. (4) ist aus Bild 2 ersichtlich, daß der Bewegungswiderstand infolge Reibung linear mit der Länge des Kettentrogs ansteigt.

### 3. Bewegungswiderstand infolge Beschleunigung des Gutes auf die Mitnehmerkettengeschwindigkeit

Für die Gutaufgabe am Rohrkettenförderer gilt mit der Mitnehmerkettengeschwindigkeit  $v_K$  in Anlehnung an Gl. (1):

$$F_{WB} = Q_m(v_K - v_G) \quad (5)$$

Mit zunehmender Übereinstimmung beider Geschwindigkeiten folgt für den Bewegungswiderstand infolge Beschleunigung, daß er gesenkt bzw. aufgehoben werden kann. Je mehr das Geschwindigkeitsverhältnis

$$K = v_G/v_K \quad (6)$$

gegen 1 strebt, desto vernachlässigbarer wird der Bewegungswiderstand infolge Beschleunigung. Das Verhältnis ist 0, wenn das Gut infolge Gewichtskraft senkrecht aufgegeben wird. Der Bewegungswiderstand infolge Beschleunigung  $F_{WB}$  wächst außer für  $K = 1$  mit dem zugrunde gelegten Massedurchsatz  $Q_m$  und dem volumetrischen Füllungsgrad  $\eta_V$  (Bild 3).

Für Rohrkettenförderer ist der Bewegungswiderstand  $F_{WB}$  infolge Beschleunigung des Gutes gegenüber anderen Förderern klein. Er ist auf den geringen Förderquerschnitt und die geringen Fördergeschwindigkeiten zurückzuführen.

### 4. Beeinflussung des Gutaufgabewiderstands durch eine Förderschnecke

Die weitere theoretische Betrachtung wird auf der Grundlage experimentell ermittelter Werte durchgeführt, die in Verbindung mit dem Einsatz einer Förderschnecke zur Massedurchsatzserhöhung gewonnen wurden [3]. Im Bild 4 wird deutlich, daß die Geschwindigkeit des Gutes  $v_G$  durch die axiale Geschwindigkeit der Förderschnecke ( $v_x = v_G$ ), d. h. mit

$$v_G = s \cdot n \quad (7)$$

annähernd übereinstimmend beschrieben wird. Die ermittelten Werte der Gutgeschwindigkeit werden für die Betrachtung des Bewegungswiderstands infolge Beschleunigung verwendet.

Im Bild 5 wird gezeigt, daß mit steigender Mitnehmerkettengeschwindigkeit der Abstand der Geraden vom ungünstigsten Fall  $K = 0$  (senkrechte Gutaufgabe), aber auch vom Idealfall  $K = 1$  (Gutaufgabe in Förderrichtung) vergrößert wird. Daraus resultiert, daß eine weitere Reduzierung des Bewegungswiderstands infolge Beschleunigung nur über die Erhöhung der Gutgeschwindigkeit führt. Entsprechend Gl. (7) ist deshalb die Steigung der Förderschnecke zu verringern, um für einen gleichen Massedurchsatz eine höhere Drehzahl bzw. Gutgeschwindigkeit zu erhalten.

Zu beachten ist, daß sich mit steigender Gutgeschwindigkeit die Wurfweite erhöht. Außerdem ist für die Senkung des Bewegungswiderstands infolge Reibung die Gutaufgabebänge des Rohrkettenförderers zu verringern. Ausgehend von der ermittelten Wurfweite (Bild 6) ist die konstruktive Auslegung der Gutaufgabe mit  $l_T = 100$  mm für den untersuchten Drehzahlbereich ausreichend. Gegenüber dem Rohrkettenförderer der RFA-2 mit  $l_T = 1000$  mm ergibt sich eine Reduzierung der Gutaufgabebänge (Kettentroglänge) und damit des Reibungsanteils um 90 % (vgl. Bild 2).

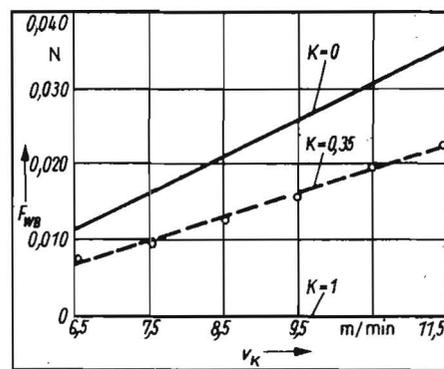


Bild 5. Bewegungswiderstand infolge Beschleunigung  $F_{WB}$  in Abhängigkeit von der Mitnehmerkettengeschwindigkeit  $v_K$  sowie vom theoretischen und tatsächlichen Geschwindigkeitsverhältnis  $K$ ;  $\eta_V = 0,73$

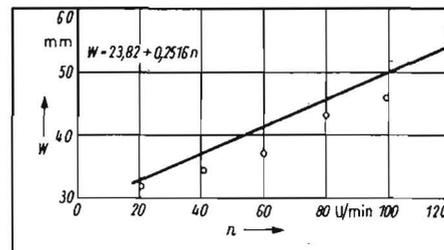


Bild 6. Wurfweite des Gutes  $W$  in Abhängigkeit von der Drehzahl  $n$  der Förderschnecke (Durchmesser 80 mm, Steigung 40 mm)

### 5. Zusammenfassung

Der Gutaufgabewiderstand von rieselfähigem Gut ist für die Berechnung des Gesamtbewegungswiderstands an der konkreten Gutaufgabestelle zu betrachten. Der Gutaufgabewiderstand wird unter der Wirkung der Gewichtskraft des Gutes hauptsächlich durch den Bewegungswiderstand infolge Reibung und nicht durch den Bewegungswiderstand infolge Beschleunigung hervorgerufen. Mit dem Einsatz einer Förderschnecke als Zuführorgan kann der Gutaufgabewiderstand im Vergleich zur Gutaufgabe durch Gewichtskraft gesenkt werden.

### Literatur

- [1] Rössel, D.: Untersuchungen zur Ermittlung von Projektierungskenngrößen für Rohrkettenförderer. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe 26 (1977) 5, S. 547–551.
- [2] Pajer, G.; Kuhnt, H.; Kurth, F.: Stetigförderer. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.
- [3] Leipnitz, P.: Einsatz von Förderschnecken in Behältern von Rohrkettenförderern. agrartechnik, Berlin 38 (1988) 8, S. 363–365.

A 5279

### Berichtigung

Im Artikel „Effektive Nutzung von Futterkartoffeln ...“ (Heft 7/1988, Seiten 316/317) sind nachträglich Korrekturen vorzunehmen. Die Bezeichnung der Säulen  $a$  in den Bildern 1 bis 3 muß in „Frischverfütterung“ geändert werden. Die Abkürzung MEF heißt Mega-Energetische Füttereinheit. Wir bitten für das Versehen um Entschuldigung.

Die Redaktion