

Einige Kenngrößen zur Projektierung von Rohrkettenförderern¹⁾

Prof. Dr. sc. techn. D. Rössel, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

1. Problemstellung

Die Durchsetzung industriemäßiger Produktionsmethoden in den Tierproduktionsanlagen erfordert auch hochmechanisierte und automatisierte Fördereinrichtungen, besonders für die Teilsysteme Fütterung und Entmistung, die sowohl eine hohe Arbeitsproduktivität als auch maximale Leistungen bei geringen Kosten ermöglichen. Gegenwärtig gibt es jedoch für einige Förderer, so z. B. für den Rohrkettenförderer, keine Berechnungsgrundlagen. Zur umfassenden Projektierung einer Rohrfütterungsanlage sind sie aber notwendig und müssen deshalb erarbeitet werden.

Rohrkettenförderer sind bezüglich ihres Funktionsprinzips in die Gruppe der mechanischen Stetigförderer mit umlaufendem Zugorgan einzuordnen. Diese Art von Förderern wird grundsätzlich mit Hilfe der Methode der Einzelwiderstände berechnet. In Anlehnung an diese Berechnungsmethode bestand daher die Aufgabe, Einzelwiderstände für Rohrkettenförderer zu ermitteln.

2. Berechnungsmethode

Das endlose, umlaufende Zugorgan hat die Aufgabe, die Widerstände beim Fördervorgang aufzunehmen und auf das Arbeitsorgan zu übertragen. Beim Rohrkettenförderer gleitet das Fördergut, vom Zugorgan geschleppt, auf dem feststehenden Lastaufnahmeorgan. Zur Ermittlung des Kraftbedarfs müssen die einzelnen Widerstände bestimmt und summiert werden. Die Abschnitte einer bestimmten Linienführung des Rohrkettenförderers werden so gewählt, daß die Widerstände in den Abschnitten gleichartig sind und sich stetig ändern. Die Widerstände werden durch verschiedene Ursachen hervorgerufen:

- Widerstand durch Höhenunterschiede auf geradlinigen Strecken
- Bewegungswiderstand auf geradlinigen Strecken
- Widerstand durch das Umlenken an horizontalen oder vertikalen Umlenk-, Ablenk- bzw. Spannradern
- Widerstand durch das Umlenken am Antrieb
- Widerstand durch das Beschleunigen und durch die Reibung des Fördergutes bei dessen Aufgabe.

Dabei werden meist in gleichartig und sich stetig verändernden Abschnitten mehrere der ge-

nannten Widerstände gleichzeitig auftreten. Die wichtigsten Berechnungsgleichungen für die auftretenden Kräfte und Einzelwiderstände sind in Tafel I zusammengefaßt. Aus einer Analyse zum Einsatz der Rohrfütterungsanlage ergaben sich folgende zu ermittelnde Widerstandsbeiwerte:

- W_{fq} spezifischer Bewegungswiderstand infolge Reibung zwischen Fördergut und Lastaufnahmeorgan
- W_f spezifischer Bewegungswiderstand infolge Reibung zwischen Zugorgan und Lastaufnahmeorgan.

Verwendete Formelzeichen

d_r	mm	Raddurchmesser
d_{zk}	mm	Durchmesser des Kettenzapfens
d_{zr}	mm	Durchmesser des Lagerzapfens
F_D	N	horizontale Druckkraft infolge der Gutsäule
F_N	N	Normalkraft
F_R	N	Reibkraft
F_{RG}	N	Reibkraft des Fördergutes
F_{RZ}	N	Reibkraft des Zugorgans
$F_{T(i)}$	N	Kraft im Zugorgan an der Stelle i
F_U	N	Kraft am Antrieb
$F_{W(i)}$	N	Bewegungswiderstand an der Stelle i
F_{wa}	N	Bewegungswiderstand durch Beschleunigung bei Fördergutaufgabe
F_{wf}	N	Bewegungswiderstand auf geradliniger Strecke
F_{wh}	N	Bewegungswiderstand durch Höhenunterschied
F_{wk}	N	Bewegungswiderstand durch einmaliges Abknicken und Geradstrecken
F_{WUA}	N	Bewegungswiderstand durch Umlenken am Antrieb
F_{WUR}	N	Bewegungswiderstand durch Umlenken an vertikalen und horizontalen Rädern
F_{WZ}	N	Bewegungswiderstand durch Zapfenreibung der Räder
F_Z	N	Zugkraft
F_{Zn}	N	Zentrifugalkraft
$h_{(i)}$	mm	Förderhöhe
$l_{(i)}$	mm	Länge der Horizontalprojektion der Förderstrecke
q	N/m	Eigenlast des Fördergutes je Meter
q_z	N/m	Eigenlast des Zugorgans je Meter
Q_m	kg/s	Förderstrommenge
v	m/s	Geschwindigkeit des Fördergutes in Förderrichtung nach der Gutaufgabe
v_0	m/s	Geschwindigkeit des Fördergutes in Förderrichtung vor der Gutaufgabe
W_A		spezifischer Umlenkewiderstand am Antrieb
W_f		spezifischer Bewegungswiderstand infolge der Reibung zwischen Zugorgan und Lastaufnahmeorgan
W_{fq}		spezifischer Bewegungswiderstand infolge Reibung zwischen Fördergut und Lastaufnahmeorgan
W_U		spezifischer Umlenkewiderstand
W_{UZ}		spezifischer Widerstand durch einmaliges Abknicken und Geradstrecken
α	°	Umschlingungswinkel
β	°	Neigungswinkel der Förderstrecke
μ_{zk}		Reibwert der Kette
μ_{zr}		Reibwert am Rädern

3. Ermittlung der spezifischen Bewegungswiderstände

Bild 1 zeigt die Zusammenstellung der zu untersuchenden Elemente des Förderers und die dabei wirkenden Kräfte. Die spezifischen Bewegungswiderstände W_{fq} und W_f lassen sich aus den Reibkräften F_{RG} (Fördergut) und F_{RZ} (Zugorgan) ermitteln:

$$W_{fq} = F_{RG}/q$$

$$W_f = F_{RZ}/q_z$$

Die Funktionsprinzipie zum Messen der Kräfte an den Elementen des Rohrkettenförderers sind in den Bildern 2 und 3 dargestellt, Bild 4 zeigt das Prinzip des Versuchsstands. Gemessen wurde an den Elementen 5, 6 und 7. Als Parameter des Versuchsprogramms wurden verwendet:

- Neigung des Meßelements „gerades Förderrohr“ $\beta = 0 \dots 90^\circ$
- Förderrohre ohne Auslauf, mit einem Auslauf und mit zwei Ausläufen

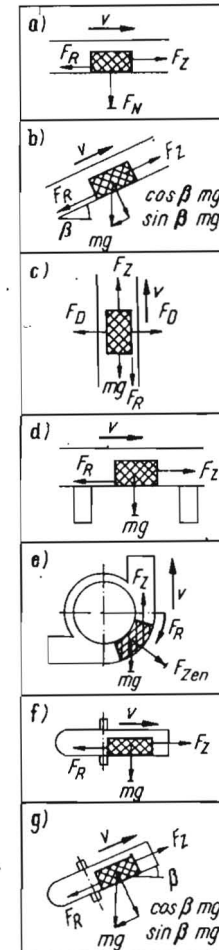


Bild 1 Wirkprinzipie der Fördererlemente;

- a) Förderrohr, horizontal
- b) Förderrohr, geneigt
- c) Förderrohr, vertikal
- d) Förderrohr mit Fallsystem, horizontal
- e) Umlenkstation, vertikal
- f) Umlenkstation, horizontal
- g) Umlenkstation, geneigt

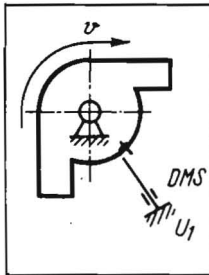


Bild 2 Funktionsprinzip für die Messung an der Umlenkstation; DMS Dehnmeßstreifen, U₁ Umlenkung

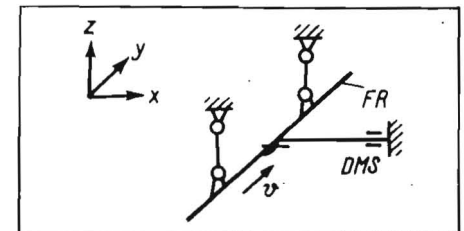


Bild 3 Funktionsprinzip zum Messen am Förderrohr (FR)

Fortsetzung von Seite 173

- technika Scandinavica, Mechanical Engineering Series, No. 64/1971.
- [8] Gläser, M.; Hartung, L.: Messungen von Fördergeschwindigkeit und -querschnitt an einem Versuchsstand „Senkrechtförderer“ mit Hilfe radioaktiv markierter Teilchen bzw. einer Absorptionsstrecke. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim, Teilbericht 1975 (unveröffentlicht).
- [9] Gutjar, E. M.: Elementarnaja teorija vertikalnogo vintoga transportera (Elementartheorie des vertikalen Schneckenförderers). Trudy moskovskogo instituta mehanizacii i elektrifikacii sel'skogo chozjajstva imeni V.M. Molotova, Band II, mašgiz 1956.
- [10] Helbig, W.: Entwicklung und Automatisierung radiometrischer Einrichtungen. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim, Bericht 1970.

Tafel 1. Berechnungsgleichungen der Kräfte und Einzelwiderstände

Kraft bzw. Einzelwiderstand	Berechnungsgleichung
Kraft im anlaufenden Trum	$F_{T(1)} = F_{T(n)} + \sum_n^k F_{W(i)}$
Kraft im ablaufenden Trum	$F_{T(2)} = F_{T(n)} - \sum_1^{n-1} F_{W(i)}$
Kraft am Antrieb	$F_U = F_{T(1)} - F_{T(2)}$
Widerstand durch Höhenunterschied auf geradliniger Strecke	$F_{W(h)} = \pm (q + q_2) h_{(i)}$
Widerstand auf geradliniger Strecke	$F_{W(i)} = (q W_{f_q} + q_2 W_f) \bar{l}_{(i)}$
Widerstand durch Umlenken an horizontalen oder vertikalen Rädern	$F_{WUR(i)} = F_{T(i)} W_U + (q + q_2) (W_f \bar{l}_{(i)} \pm h_{(i)})$
Widerstand durch Zapfenreibung der Räder	$F_{WZ} = F_{T(i)} 2\mu_{ZR} \frac{d_{ZR}}{d_R} \sin \frac{\alpha}{2}$
Widerstand durch einmaliges Abknicken und Geradstrecken	$F_{WK} = F_{T(i)} W_{UZ} \quad W_{UZ} = 2\mu_{ZK} \frac{d_{ZK}}{d_R}$
Widerstand durch Umlenken am Antrieb	$F_{WUA(i)} = F_{T(i)} W_A$ $W_A = W_{UZ}/2$
Widerstand durch Beschleunigung bei Fördergutaufgabe	$F_{Wa(i)} = Q_m (v - v_0)$

μ_{ZR} wird ermittelt nach [1], μ_{ZK} wird ermittelt nach [2], W_A wird ermittelt nach [3]

Tafel 2. Spezifischer Bewegungswiderstand W_f der Elemente einer Rohrkettenförderanlage

Meßelement	spezifischer Bewegungswiderstand W_f bei einem Neigungswinkel β von			
	0°	45°	75°	90°
gerades Förderrohr				
Meßstelle 7	0,31	0,38	0,50	0,94
Umlenkstationen				
Meßstelle 5	0,28	0,31	0,60	0,56
Meßstelle 6	0,61	0,78	1,08	1,10

Tafel 3. Spezif. Bewegungswiderstand W_{f_q} beim Fördern verschiedener Gutarten

Gutart	Meßstelle	spezifischer Bewegungswiderstand W_{f_q} beim Neigungswinkel glattes Rohr					
		0°	45°	75°	90°	1 Öffnung	2 Öffnungen
Mastfutter	7	0,44	1,33	1,77	2,22	—	—
M I	5	1,32	1,50	1,77	2,09	—	—
	6	4,34	3,06	2,09	2,03	—	—
Ferkelstarterfutter F I	7	1,04	1,29	1,99	2,45	—	—
	5	1,47	0,83	1,83	3,73	—	—
	6	3,76	3,46	2,93	2,76	—	—
Legehennenfertigfutter	7	0,50	0,83	0,97	1,05	—	—
	5	0,50	0,73	1,08	1,24	—	—
	6	1,68	1,51	2,33	2,43	1,02	1,07
Ferkelprästarterfutter F II	7	1,24	1,32	1,80	2,27	—	—
	5	1,09	1,22	3,56	2,83	—	—
	6	7,48	7,35	5,27	2,90	2,39	2,50
Mais	7	1,11	2,02	2,78	3,73	—	—
	5	1,71	1,71	2,89	3,59	—	—
	6	5,31	4,76	3,43	3,59	3,77	3,95
Senf	7	1,42	2,03	2,87	2,83	—	—
	5	2,66	2,13	3,22	3,40	—	—
	6	4,93	2,94	5,82	3,57	3,11	3,32
Pellets	7	1,96	2,66	3,76	3,79	—	—
(Ø 5,5 mm)	5	4,04	3,93	4,17	4,11	—	—
	6	6,23	5,10	5,99	4,14	3,95	4,04

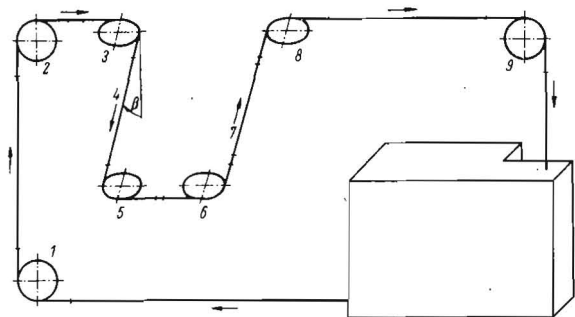


Bild 4 Prinzipdarstellung des Versuchsaufbaus mit den Meßelementen 5, 6 und 7

spezifischen Bewegungswiderstände wurden in Versuchen für ausgewählte Futterarten mit der Rohrkettenförderanlage ermittelt und in Tafeln zusammengestellt.

Literatur

- [1] TGL 20-353 006/01 bis 08 Lagerwiderstände. Ausgabe 1971.
- [2] Scheffler, M.: Einführung in die Fördertechnik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1969.
- [3] Autorenkollektiv: Das Fachwissen des Ingenieurs, Bd. III. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1966.
- [4] Meßprotokoll (Abschrift) „Zugkraftmessung an Gliederketten der Rohrführungsanlage“. Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim, Abt. Techn. Untersuchung, 1974.
- [5] Kaufuß, G.: Literaturstudium zur Berechnung von Rohrkettenförderern und Entwurf eines Versuchsaufbaus. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1974 (unveröffentlicht).
- [6] Keitel, C.: Erarbeitung eines Versuchsprogramms für einen Rohrkettenförderer mit Nachweis durch Versuche. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Großer Beleg 1975 (unveröffentlicht).
- [7] Klukas, E.: Untersuchung einer Rohrkettenförderanlage. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Großer Beleg 1976 (unveröffentlicht).
- [8] Tolle, O.: Untersuchung eines Rohrkettenförderers. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1975 (unveröffentlicht).
- [9] Koball, E.: Untersuchung einer Rohrkettenförderanlage. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1975 (unveröffentlicht). A 1519

- Fördergüter:
 - Ferkelstarterfutter F I
 - Ferkelprästarterfutter F II
 - Legehennenfertigfutter
 - Mastfutter M I
 - Pellets (Ø 5,5 mm und 10 mm)
 - Mais
 - Senf

(Für diese Fördergüter wurden zur technischen Charakterisierung die Stoffkenngrößen Schüttdichte, Böschungswinkel, Gutfeuchtigkeit und Textur ermittelt.)

— Füllungsgrad.

4. Ergebnisse der Untersuchung

Aus den gemessenen Kräften erfolgte die Berechnung der spezifischen Widerstandsbeiwerte. Sie sind in den Tafeln 2 und 3 zusammengestellt. Aus Tafel 2 ist die Abhängigkeit des spezifischen Bewegungswiderstands von der Bewegungsrichtung der Kette zu ersehen. Durch Austauschen der Umlenkstationen konnte ein eventueller Einfluß des Förderelements auf den spezifischen Bewegungswiderstand ausgeschlossen werden.

Ein möglicher Einfluß veränderter resultierender Krafrichtung zwischen den Meßstellen 5 und 6 konnte bisher mit der verwendeten Meßtechnik nicht erfaßt werden.

Die spezifischen Bewegungswiderstände W_{f_q} wurden bei einer Fördergeschwindigkeit $v = 0,1$ m/s und maximal möglichem Füllungsgrad ermittelt. Zur Überprüfung der Ergebnisse erfolgte eine Berechnung der erforderlichen Antriebsleistung für eine Rohrführungsanlage eines Legehennenaufzuchtstalls vom Typ R 10. Dabei ergaben sich eine errechnete Antriebsleistung von rd. 0,5 kJ/s und errechnete Kettenzugkräfte von rd. 5000 N. Diese Werte stimmen mit Meßwerten anderer Autoren [4] annähernd überein. Umfangreiche Angaben zu den Meßergebnissen sind in den Literaturquellen [5] [6] [7] [8] [9] zu finden.

5. Zusammenfassung

Es wird eine Berechnungsmethode für Rohrkettenförderer vorgeschlagen, die auf der Berechnungsmethode der Einzelwiderstände für mechanische Förderer mit umlaufendem Zugorgan basiert. Die dazu erforderlichen

1) Dieser Beitrag basiert auf Untersuchungen, die der Autor während seiner Tätigkeit an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, durchführte