

# Einsatz von Förderschnecken in Behältern von Rohrkettenförderern

Dipl.-Ing. P. Leinitz, KDT, VEB Wissenschaftliches Zentrum Ferdinandshof, Betrieb des VEB Ausrüstungskombinat für Rinder- und Schweineanlagen Nauen

## Verwendete Formelzeichen

A	m <sup>2</sup>	Förderquerschnitt
d	mm	Durchmesser
I	A	Stromstärke
l	mm	im Eingriff befindliche Länge der Förderschnecke
n	U/min	Drehzahl
P	W	Leistung
Q <sub>m</sub>	kg/h	Massedurchsatz
s	mm	Steigung
U	V	Spannung
v <sub>k</sub>	m/min	Geschwindigkeit der Förderkette
η <sub>k</sub>	%	konstruktiver Füllungsgrad
η <sub>v</sub>	%	volumetrischer Füllungsgrad
ρ <sub>s</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Schüttdichte
cos φ		Leistungsfaktor

dieser Massedurchsatz 350 kg/h bei einer Geschwindigkeit der Förderkette von 6,5 m/min. In der Schweineproduktion wird eine Erhöhung für den Massedurchsatz gefordert. Diese Forderung ist bei vorgegebenen Konstruktionsparametern wegen

$$Q_m = A v_k \eta_k \eta_v \rho_s \quad (1)$$

nur über eine Erhöhung der Geschwindigkeit der Förderkette realisierbar. Mit steigender Förderkettengeschwindigkeit sinkt jedoch der volumetrische Füllungsgrad im Förderrohr [1]. Für einen effektiven Einsatz von Rohrkettenförderern ergibt sich hieraus die Aufgabe, bei Vermeidung von Brückenbildungen eine gleichmäßige Befüllung der Förderkette mit konstantem volumetrischem Füllungsgrad sicherzustellen.

ren Möglichkeiten entweder nur das Fließverhalten beeinflussen oder das Gut in Bewegung halten und nicht unmittelbar auf den Massedurchsatz wirken.

Förderschnecken haben bei einem Einsatz in Behältern von Rohrkettenförderern als Austragorgane folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Verhinderung bzw. Zerstörung von Brückenbildungen im Behälter durch die rotierende Wendel als aktives Element
- Realisierung variabler volumetrischer Füllungsgrade durch Zuordnung der jeweiligen Drehzahl der Förderschnecke an eine konstante Förderkettengeschwindigkeit für stetige Massedurchsätze des Rohrkettenförderers mit unterschiedlicher Größe
- Konstanz des volumetrischen Füllungsgrades durch definierte Gutzuführung als Grundlage für eine Volumendosierung
- Senkung des infolge von Reibung und Beschleunigung während der Gutaufgabe entstehenden Bewegungswiderstands durch Zuführung des Schüttgutes in Förderrichtung.

Gegenüber einem Rüttelgitter können durch eine Förderschnecke mehrere Funktionen gleichzeitig realisiert werden. Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen bezie-

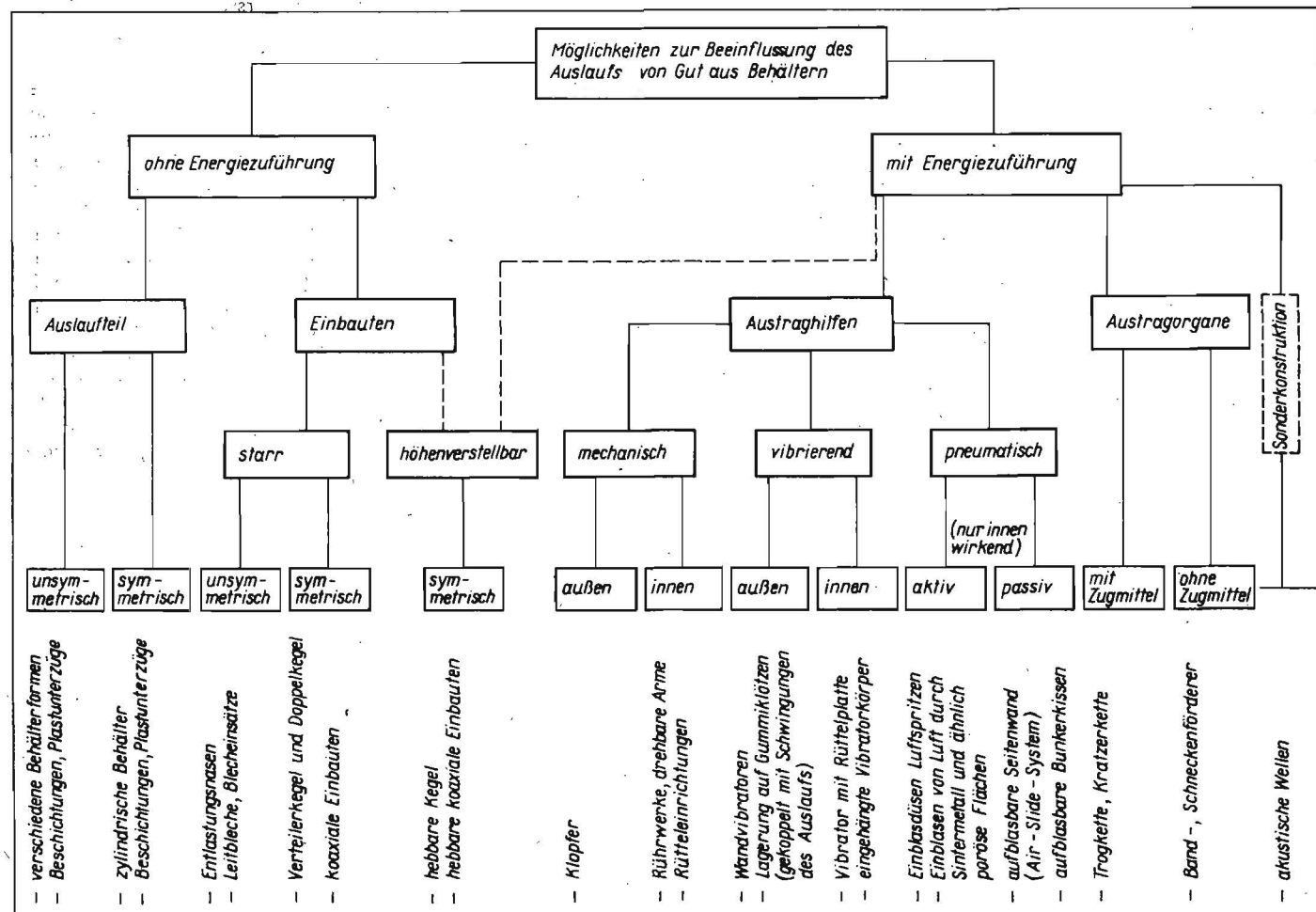
## 1. Problemstellung

Beim Auslaufen von Schüttgütern aus Behältern von Rohrkettenförderern können unter praktischen Bedingungen Störungen auftreten, die durch die Eigenschaften der verwendeten Schüttgüter hervorgerufen werden. Deshalb ist ein kontinuierlicher Abzug des Schüttgutes durch Vermeidung von Brückenbildungen zu gewährleisten. Ein Rüttelgitter erfüllt nur teilweise diese Aufgabe. Durch die Brückenbildung wird, u. a. auch die Steigung des Massedurchsatzes beeinträchtigt. Für den Rohrkettenförderer RFA-2 beträgt

## 2. Auswahl und Aufgaben einer Förderschnecke

Zur Vermeidung von Brückenbildungen werden unterschiedliche technische Lösungen genutzt. Bild 1 enthält eine Systematik bekannter Möglichkeiten, die für einen störungsfreien Abzug des Schüttgutes eingesetzt werden können. Vorzugsweise sind Austragorgane zu verwenden, da die ande-

Bild 1. Systematik bekannter Lösungen für die Verbesserung des Gutauslaufs von Trockenfutter aus Behältern



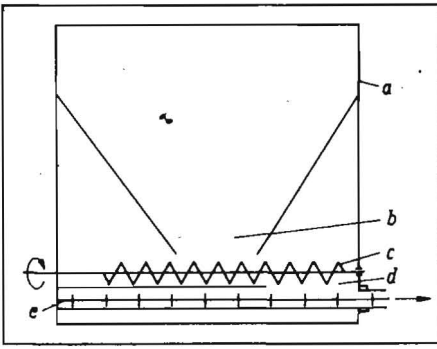


Bild 2. Schematische Darstellung des verwendeten Behälters;  
a Behälter, b Auslauftteil, c Förderschnecke, d Gutaufgabe, e Förderkette

hen sich auf die Verhinderung von Brückenbildungen und die Erhöhung des Massedurchsatzes.

### 3. Experimentelle Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden zum Massedurchsatz des Rohrkettenförderers und zum Leistungsbedarf der Förderschnecke in Abhängigkeit von den eingestellten Betriebsparametern durchgeführt. Dabei wurde angenommen, daß der Massedurchsatz des Rohrkettenförderers gleich dem Massedurchsatz der Förderschnecke ist.

In einem Läuferaufzuchtstall wurden die Förderschnecken in einem Rohrkettenförderer eingesetzt, der mit einer materialminimierten Förderkette und dem dazugehörigen Antriebsrad arbeitete [2]. Die Versuchsanlage hatte eine Länge von 209 m. Die Vorspannung betrug 900 N und wurde durch Gewichtskraft erzeugt. Bei der waagerechten Anordnung der Förderschnecken im Versuchsstand waren Auslauftteil und Gutaufgabe innerhalb des Behälters getrennt (Bild 2). Die Hauptabmessungen der beiden eingesetzten Förderschnecken waren:

- Förderschnecke I:  $d = 80 \text{ mm}$ ,  $s = 40 \text{ mm}$
- Förderschnecke II:  $d = 60 \text{ mm}$ ,  $s = 90 \text{ mm}$ .

Das Aufzuchtfutter wurde 1 m hinter dem Behälter in einer Zeit von 30 s aufgefangen und gewogen. Daraus wurde nach Gl. (1) der Massedurchsatz bestimmt. Für die Ermittlung des Leistungsbedarfs der Förderschnecke wurden die Spannung, die Stromstärke und der Leistungsfaktor einzeln gemessen und nach Gl. (2) die Wirkleistung berechnet:

$$P = U \sqrt{3} \cos \phi \quad (2)$$

Die erforderliche Anzahl von 9 Versuchen je Versuchseinstellung [3] gilt für eine statistische Sicherheit von 0,95. Für die einzelnen Versuchseinstellungen wurden die Förderkettengeschwindigkeit und die Drehzahl der Förderschnecke variiert.

### 4. Untersuchungsergebnisse

Um Brückenbildungen zu vermeiden, sollte die im Eingriff befindliche Länge der Förderschnecke mit  $l = 200 \text{ mm}$  nicht unterschritten werden. Eine Erhöhung des Massedurchsatzes des Rohrkettenförderers wird mit beiden Förderschnecken erzielt (Bilder 3 und 4), wobei dies wegen der größeren Steigung der Förderschnecke II bei einer geringeren Drehzahl möglich ist. Ein Rohrkettenförderer kann bis zu einem Massedurchsatz von  $1000 \text{ kg/h}$  ohne Störungen betrieben werden (Bild 4). Darüber hinaus wurden keine

Untersuchungen durchgeführt. Die hohe Korrelation der einzelnen Geraden spiegelt die Anpassung der Betriebsparameter wider. Da eine Begrenzung durch den volumetrischen Füllungsgrad vorhanden ist, existiert für jede Förderkettengeschwindigkeit eine obere Drehzahl der Förderschnecke, von der ab eine Erhöhung des Massedurchsatzes nicht mehr möglich ist. Wird diese Drehzahl überschritten, erfolgt ein Überladen der Gutaufgabe und führt zu Störungen. Die Variationskoeffizienten als Ausdruck für die Dosiergleichmäßigkeit lagen für die Förderschnecke I unter 1,8% und für die Förderschnecke II unter 2,1% und verdeutlichen die Konstanz des volumetrischen Füllungsgrades. Mit wachsender Förderkettengeschwindigkeit bzw. Drehzahl verringern sich die Variationskoeffizienten geringfügig. Aufgrund der höheren einzustellenden Drehzahl, der damit verbundenen Abnahme des Variationskoeffizienten sowie einer größeren rotierenden Fläche zur Vermeidung von Brückenbildungen ist für einen Einsatz die Förderschnecke I vorzuziehen.

Der Leistungsbedarf der beiden Förderschnecken unterscheidet sich nicht wesentlich voneinander und befand sich für die verwendeten Drehzahlen in einem Bereich von 312 bis 356 W. Da dieser Bereich relativ klein ist, nimmt der spezifische Leistungsbedarf der Förderschnecken mit steigender Drehzahl ab. Für die Förderschnecke I beträgt der spezifische Leistungsbedarf  $0,647 \text{ kWh/t}$  bei  $n = 53,1 \text{ U/min}$  und sinkt auf  $0,326 \text{ kWh/t}$  bei  $n = 105,2 \text{ U/min}$ .

Für die praktische Nutzung wurde aus den experimentell ermittelten Werten ein Nomogramm erarbeitet (Bild 5). Zu beachten ist, daß die Förderschnecke bei konstanter Drehzahl das Gut unabhängig von der Schüttdichte mit gleichem Volumendurchsatz in die Gutaufgabe transportiert. Der obere kritische Bereich berücksichtigt die nicht zu überschreitende Drehzahl für die jeweilige Förderkettengeschwindigkeit. Der untere kritische Bereich kennzeichnet Betriebsparameter, die eine rationelle Auslastung des Rohrkettenförderers nicht mehr gewährleisten, da der volumetrische Füllungsgrad kleiner

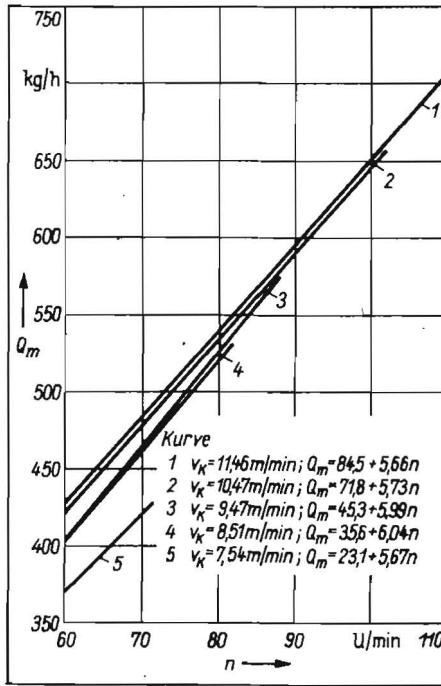


Bild 3. Massedurchsatz in Abhängigkeit von Drehzahl und Kettengeschwindigkeit bei der Förderschnecke I

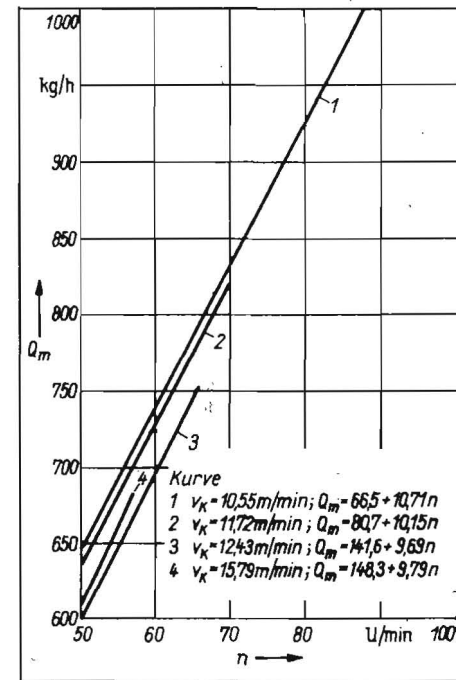
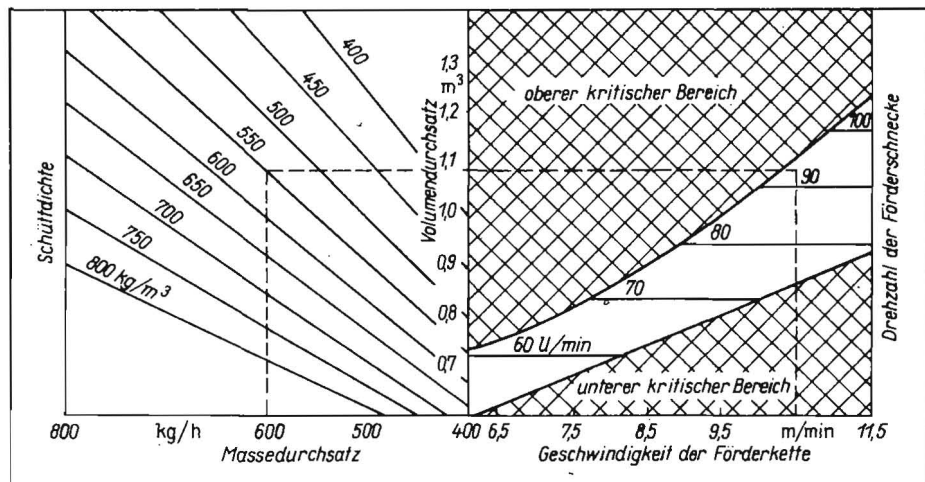


Bild 4. Massedurchsatz in Abhängigkeit von Drehzahl und Kettengeschwindigkeit bei der Förderschnecke II

Bild 5. Nomogramm zur Bestimmung der einzustellenden Betriebsparameter



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 Masedurchsatz 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 Masedurchsatz 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 Kettenrog
$F_{N1}$	N	Normalkraft des Gutes an den Mitnehmern
$F_{N2}$	N	Normalkraft des Gutes an der Mitnehmerkettenoberseite
$F_{N3}$	N	Normalkraft des Gutes im Kettenrog
$F_{N3/1}$	N	Normalkraft des Gutes an den senkrechten Wänden des Kettenrogs
$F_{N3/2}$	N	Normalkraft des Gutes im gewölbten Boden des Kettenrogs
$F_R$	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 Kettenrogs (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	Masedurchsatz
$r_K$	m	Radius des angenommenen Kettenstabs
$r_M$	m	Radius des Mitnehmers
$r_T$	m	Radius des Kettenrogs
$s$	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

### 1. Problemstellung

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

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 Kettenrog ( $F_{R0}$ ), Gut und Mitnehmer ( $F_{R1}$ ), Gut und Mitnehmerkette ( $F_{R2}$ ), Gut und Kettenrog ( $F_{R3}$ ) und innerhalb des Gutes ( $F_{R4}$ ).

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

- Die Berührung der Mitnehmer im Kettenrog 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 Kettenrog.
- Für die Bestimmung der Kraft  $F_{N3}$  werden Wand- bzw. Bodendruck auf die vertikalen Wände bzw. den gewölbten Boden des Kettenrogs 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)

