

kensubstanzgehalt >80%) liegen bei diesen auch die Anpreßdrücke im Dosierer niedriger, so daß sich für beide Futterarten die Nutzung der derzeit maximal möglichen Futterhöhe im Dosierer nicht auf eine spürbare Vergrößerung des Reibwerts zwischen Futtermittel und Gleitboden auswirkt.

Im Gleitgeschwindigkeitsbereich bis 2,0 m/s sind keine eindeutigen Aussagen hinsichtlich der Veränderung des Reibwerts möglich. Da sich bei einer Erhöhung der Gurtgeschwindigkeit des Zentralförderers auf 2,0 m/s eine Reihe von Vorteilen ergibt, sollte diese Geschwindigkeit verwendet werden.

Zum Abschluß sei bemerkt, daß die in der Literatur angegebenen Reibwerte für die Auslegung der Maschinen und Ausrüstungen als Richtwerte dienen können. Für genaue Berech-

nungen ist aufgrund der Vielzahl von Einflußfaktoren eine Bestimmung der Reibwerte unter Simulation der entsprechenden Verhältnisse notwendig. In weiteren Forschungsarbeiten müßten die Reibwerte vor allem in einem Bereich des Anpreßdrucks von 0,01 bis 0,03 N/cm<sup>2</sup> ermittelt werden.

#### 4. Zusammenfassung

Im Beitrag wird eine Möglichkeit der Bestimmung des dynamischen und statischen Reibwerts von Futtermitteln dargestellt. Die auf dem beschriebenen Versuchsstand ermittelten Ergebnisse werden diskutiert und die Bedeutung der Reibwerte für die Förderung der Futtermittel in den Tierproduktionsanlagen erläutert.

#### Literatur

- [1] Soucek, R.; Regge, H.: Grundsätze für die Konstruktion von Landmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
- [2] Korneev, G. V.: Transportery i elevatory sel'skochozjajstvennogo naznatsenija (Förderer und Elevatoren für landwirtschaftliche Zwecke). Moskau/Kiev: Mašgiz 1961.
- [3] Kanafojski, C.: Grundlagen erntetechnischer Baugruppen. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.
- [4] Agrotechnische Forderungen an Gurtbandförderer in Produktionsanlagen der Landwirtschaft. Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim 1977.
- [5] TGL 20-350001 Gurtbandförderer, Berechnungsgrundlagen. Ausg. 1.66.
- [6] Kragelski, I. W.: Reibung und Verschleiß. Berlin: VEB Verlag Technik 1971.

A 3067

# Bestimmung wichtiger Konstruktions- und Betriebsparameter von Gurtbandförderern beim Einsatz in Tierproduktionsanlagen

Dr.-Ing. M. Ziesch, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

#### Verwendete Formelzeichen

A	m <sup>2</sup>	Fördergutquerschnittsfläche
a	m	Tragrollenabstand
b	m	Gurtbreite
b <sub>2</sub>	m	nutzbare Gurtbreite
d	mm	Tragrollendurchmesser
e	m	Abstand der Tragrollenlager einer Tragrolle
F <sub>A1</sub>	N	Axialkraft des Tragrollenlagers
F <sub>D</sub>	N	Kraft an einer Tragrolle, resultierend aus dem Fördergut
F <sub>G</sub>	N	Kraft an einer Tragrolle, resultierend aus der Eigenmasse des Fördergutes
F <sub>R1,2</sub>	N	Radialkraft der Tragrollenlager
h	mm	Gurtdurchhang
h <sub>K</sub>	m	Höhe der Wellenkante beim Wellenkantengurt bzw. des Kastens beim Kastengurt
K	N · cm	Platten- bzw. Gurtsteifigkeit
K <sub>1</sub>		Verhältnis von belasteter zu unbelasteter Gurtbreite
L <sub>h</sub>	a	rechnerische Lebensdauer des Tragrollenlagers
l	m	Achsabstand des Gurtbandförderers
m, n		Anzahl der Schritte der Näherung der Entwicklung der Lastverteilung in einer Fourier-Reihe
m <sub>T</sub>	kg	Masse einer Tragrolle
m <sub>2</sub>	kg/m	Fördermasse je Meter Gurtbandlänge
m <sub>3</sub>	kg/m	Gurtmasse je Meter Gurtbandlänge
P	kW	Antriebsleistung des Gurtbandförderers
p <sub>0</sub>	N/cm <sup>2</sup>	Belastung in z-Richtung je Flächeneinheit
p <sub>y</sub>	N/cm <sup>2</sup>	Belastung in y-Richtung je Flächeneinheit
Q	t/h	Durchsatz des Gurtbandförderers
s	mm	Dicke des Fördergutes
v	m/s	Gurtgeschwindigkeit
ΣW	N	Summe der Bewegungswiderstände
W <sub>R</sub>	N	Bewegungswiderstand zum horizontalen Bewegen des Fördergutes bei Gleitgurtförderern
x <sub>S</sub> ; y <sub>S</sub>	m	Koordinaten des Schwerpunktes
x; y	m	Koordinaten
α	°	Schüttwinkel des Fördergutes
α <sub>m</sub> , β <sub>n</sub>	°	Rechengrößen
β	°	Muldungswinkel des Fördergutes
σ <sub>y</sub>	N/cm <sup>2</sup>	Gurtspannung in y-Richtung
ρ	kg/m <sup>3</sup>	Schüttdichte des Fördergutes
μ <sub>0</sub>	—	Gleitreibungsbeiwert des unbelasteten Fördergutes

μ <sub>2</sub>	—	Gleitreibungsbeiwert zwischen Tragrolle und Gurt
μ	—	Gleitreibungsbeiwert

#### 1. Problemstellung

Gurtbandförderer stellen zur Futterverteilung in Rinderproduktionsanlagen ein entscheidendes Mechanisierungsmittel dar. Sie haben folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Transport landwirtschaftlicher Futtermittel und deren Gemische
- Überwindung von Höhenunterschieden zwischen Auf- und Abgabestellen
- Abgabe von Fördergut über Kopf oder mit Hilfe von Abwurfeinrichtungen [1].

Die Bestimmung folgender Konstruktions- und Betriebsparameter stellt ein entscheidendes Mittel zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und zur besseren Anpassung der Gurtbandförderer an den vorgegebenen Einsatzfall dar:

- Muldungsform
- zulässiger Muldungswinkel
- Tragrollenabstand
- Werkstoffpaarung Gurt—Stützfläche
- Fördergeschwindigkeit u. a.

In [2] wurden bereits die wichtigsten Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen hinsichtlich der Muldungsform, des Tragrollenabstands und der Werkstoffpaarung Gurt—Stützfläche vorgestellt. Daher soll nachfolgend besonders auf Möglichkeiten der Berechnung dieser Parameter für den speziellen Einsatzfall eingegangen werden.

#### 2. Berechnungsgrundlagen zur Muldungsform

Die Muldungsform und die Fördergeschwindigkeit haben einen entscheidenden Einfluß auf den Durchsatz eines Gurtbandförderers. In Tafel 1 sind die wichtigsten für den Transport landwirtschaftlicher Futtermittel geeigneten Muldungsformen und die Berechnungsvorschriften zur Ermittlung des Fördergutquerschnitts zusammengestellt. Außerdem sind die Beziehungen zur Bestimmung des maximalen Fördergutquerschnitts in Abhängigkeit vom Schüttwinkel des Fördergutes angegeben. Bei

der Anwendung dieser Berechnungsvorschriften ist zu beachten, daß es sich dabei jeweils um den theoretischen Fördergutquerschnitt handelt und daß sich die als optimal ermittelten Muldungswinkel teilweise infolge der erhöhten Beanspruchung des Fördergutes in der Praxis nicht verwirklichen lassen. Untersuchungen zur Wahl des Muldungswinkel wurden bereits in [2] beschrieben. Als Ergebnis dieser Untersuchungen wurde festgestellt, daß sich die zweiteilige Muldungsform für den gegebenen Einsatzfall als günstig erweist. Im folgenden soll dafür ein Belastungsmodell zur Berechnung der Tragrollenlagerbelastung erstellt werden. Im Bild 1 sind die Kräfte an den Tragrollenlagern, resultierend aus der Belastung durch das Fördergut, den Fördergurt und die Eigenmasse der Tragrolle, dargestellt. Beim Aufstellen des Belastungsmodells wurden folgende Vereinfachungen getroffen:

- Bei dem verwendeten Fördergut handelt es sich um ein ideales Schüttgut. Zwischen Gut und Gurt werden nur Normalkräfte übertragen.
- Der über jeder Tragrolle liegende Schüttquerschnitt wird über dem Knickpunkt der beiden Tragrollen (Gurtmitte) getrennt. Dabei wird angenommen, bedingt durch die Struktur des Fördergutes (Halmgut), daß keine Kraftwirkungen durch das Fördergut in horizontaler Richtung entstehen.
- Die Oberfläche des Gutquerschnitts wird als dreieckförmig angenommen. Diese Annahme entspricht dem Standard TGL 20-350001 [3]. Verschiedentlich angenommene parabelförmige Förderquerschnitte konnten beim Transport von Halmgut bisher nicht nachgewiesen werden.
- Die nutzbare Gurtbreite in m wird entsprechend [3] mit  $b_2 = 0,9b - 0,05$  angesetzt.
- Durch die Biegesteifigkeit des Fördergutes wird auf die Tragrolle eine zusätzliche Kraft ausgeübt, die sich nach [4] wie folgt ergibt:  
 $F_G (1 - \cos \beta)$ .
- Die Axialkraft auf beide Tragrollen wird der

Tafel 1. Berechnung der Fördergutquerschnittsfläche bei unterschiedlichen Muldungsformen

Muldungsform	Fördergutquerschnittsfläche	Zusammenhang zwischen Schütt- und Muldungs-winkel bei maximaler Fördergutquerschnittsfläche
ungemuldet	$A = \frac{b_2^2}{4} \tan \alpha$	—
zweiteilig gemuldet	$A = \frac{b_2^2}{4} (\sin \beta \cos \beta + \cos^2 \beta \tan \alpha)$	$\beta = \frac{1}{4} (\pi - 2\alpha)$
dreiteilig gemuldet	$A = \frac{3b_2 - b}{6} \left( \frac{3b_2 - b}{6} \sin \beta \cos \beta + \sin \beta \frac{b}{3} \right) + \tan \alpha \left( \frac{2 \cos \beta \frac{2b_2 - b}{6} + \frac{b}{3} \right)^2$	$\beta = \frac{1}{3} (\pi - 2\alpha)$
trogförmig gemuldet	$A = b_2^2 \frac{1}{2\beta_1} - \frac{\sin \beta_1}{2\beta_1^2} + \frac{\sin^2 \beta_1}{\beta_1^2} \tan \alpha$	$\beta_1 = \pi - 2\alpha$
kastenförmig ungemuldetes Boden (bei $\beta = 90^\circ$ )	$A = (b_2 - 2h_K) h_K + \frac{(b_2 - 2h_K)^2}{4} \tan \alpha$	—
Wellenkantengurt	$A = b_2 h_K + \frac{b_2^2}{4} \tan \alpha$	—

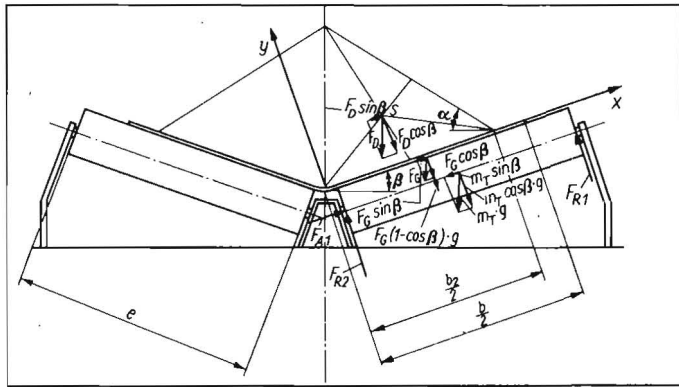


Bild 1 Belastungsmodell zur Berechnung von Tragrollen bei zweiteiligen Tragrollenstationen

Reibkraft zwischen Gurt und Tragrolle gleichgesetzt. Dabei wird angenommen, daß zwischen Gurt und Tragrolle eine Relativbewegung in axialer Richtung vorhanden ist. Diese läßt sich folgendermaßen begründen:

- Bei der Bewegung auf der Strecke zwischen zwei Tragrollenstationen öffnet sich der Gurt. Diese Öffnung wird durch die V-förmig angeordneten Tragrollenstationen wieder rückgängig gemacht.
- Über die Länge der Förderstrecke wandert der Gurt seitlich aus. Die Ursache dafür liegt in einer ungenügenden Ausrichtung des Traggerüsts und der Rollen sowie in nicht vollständig gerade ausgeführten Endlosverbindungen des Gurtes.
- Infolge von Durchsatzschwankungen wird der Gurt unterschiedlich tief in die Muldung eingezogen.

Entsprechend Bild 1 und unter Berücksichtigung der getroffenen Vereinfachungen ergeben sich die Koordinaten des Schwerpunktes S des Fördergutes zu:

$$x_S = \frac{b_2}{6} \left( 1 + \sin^2 \beta + \frac{\sin 2\beta}{2} \tan \alpha \right)$$

$$y_S = \frac{b_2}{6} \left( \frac{\sin 2\beta}{2} + \cos^2 \beta \tan \alpha \right)$$

Die durch das Fördergut hervorgerufene Kraft  $F_D$  ergibt sich zu:

$$F_D = \frac{b_2^2}{8} a \rho g \left( \frac{\sin 2\beta}{2} + \cos^2 \beta \tan \alpha \right)$$

Die Kraft aus der Eigenmasse des Gurtes ergibt sich zu:

$$F_G = \frac{a g m_3}{2}$$

Aus dem Kräftegleichgewicht an einer Tragrolle lassen sich folgende Tragrollenbelastungen ableiten:

$$F_{A1} = (F_D + F_G) \cos \beta \mu_2 + m_T g \sin \beta$$

$$F_{R1} = \frac{1}{2} m_T g \cos \beta + \frac{b}{4e} F_G + \frac{F_D b_2}{6e} \cos \beta$$

$$F_{R2} = \frac{1}{2} m_T g \cos \beta + F_G \left( 1 - \frac{b}{4e} \right) + F_D \cos \beta \left( 1 - \frac{b_2}{6e} \right) \quad (5)$$

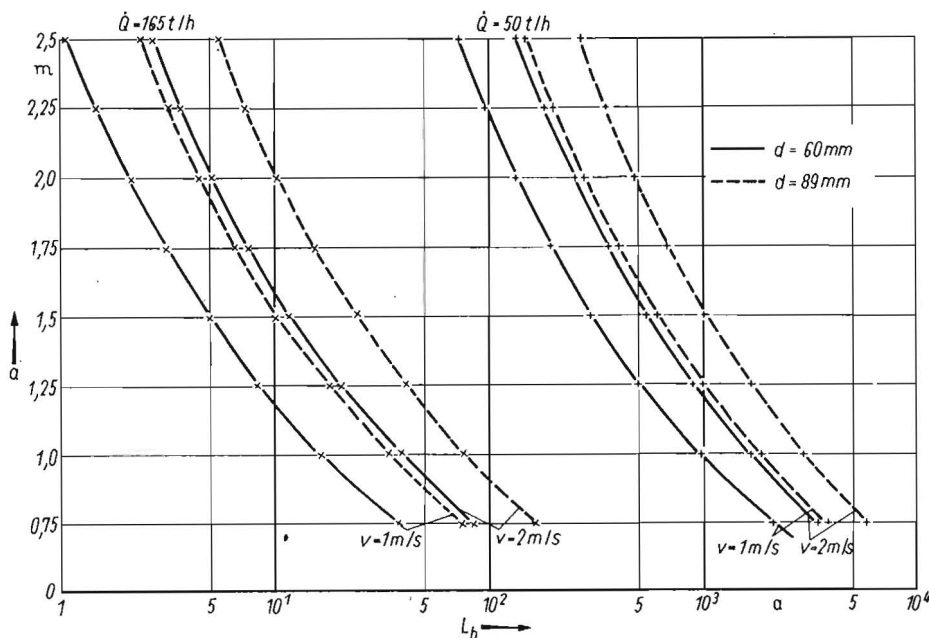
Zusätzlich zu diesen Belastungen treten noch folgende weitere Kräfte auf:

- Stoßkräfte, resultierend aus dem Fördergut
- Lagerkräfte durch Unwucht der Tragrollen
- Lagerkräfte durch auf Sturz gestellte Tragrollen
- Kräfte durch den Walkwiderstand des Gurtes.

Betrachtungen in [5] zeigen, daß diese Kräfte im vorgegebenen Einsatzfall unter 1% der Gesamtagerbelastung liegen und daher vernachlässigt werden können.

Im Bild 2 ist die sich nach den 10 ermittelten Belastungen ergebende rechnerische Lebensdauer der Tragrollenlager ( $b = 0,8 \text{ m}$ ;  $\alpha = 45^\circ$ ;  $\beta = 18^\circ$ ) für verschiedene Durchsätze, Tragrollenabstände, Gurtgeschwindigkeiten und Tragrollendurchmesser dargestellt.

Bild 2. Rechnerische Lebensdauer der Tragrollenlager in Abhängigkeit von Tragrollenabstand a, Durchsatz Q, Gurtgeschwindigkeit v und Tragrollendurchmesser d



### 3. Berechnungsgrundlagen zur Tragrollen-anordnung

Zur Berechnung des Tragrollenabstands ist aus der Literatur eine Vielzahl von Berechnungsverfahren bekannt. Die nach diesen Verfahren ermittelten Tragrollenabstände schwanken für den speziellen Einsatzfall im Bereich von 0,7 bis 6,0 m [6]. Daher ist keine eindeutige Berechnungsvorschrift zur Bestimmung des Tragrollenabstands vorhanden. Eine einfache Möglichkeit führt über die experimentelle oder rechnerische Ermittlung der örtlichen Gurtzugkraft und des Leistungsbedarfs [2].

Der Verlauf des Gurtdurchhangs zwischen zwei Tragrollenstationen ist für die Konstruktion des Traggerüsts und für den Einbau von Zusatzbäugruppen in das Traggerüst von Interesse. Des Weiteren kann über die Kenntnis des Gurtdurchhangs überprüft werden, ob die vom Gurthersteller als Grenzwert angegebenen Durchhangswerte nicht überschritten werden. Diese liegen für die z. Z. verwendeten Gurte zwischen 1,0 bis 1,5 %.

Die Berechnung des Gurtdurchhangs kann auf der Grundlage der Kirchhoffschen Plattentheorie erfolgen. Im Bild 3 sind die Kraftwirkungen an einem Fördergurt bei Betrachtung als zweiseitig eingespannte Platte angegeben. Auf der Grundlage dieses Belastungsmodells ergibt sich der Gurtdurchhang  $h$  wie folgt:

$$h = \frac{16 p_0}{K \pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{m n} \frac{\sin \alpha_m \frac{b_2}{2} \sin \alpha_m \frac{b}{2}}{(\alpha_m^2 + \beta_n^2)^2 + \frac{s \sigma_v}{K} \beta_n^2} \sin \alpha_m x \left[ \sin \beta_n y - f(y) \right];$$

$$\alpha_m = \frac{\pi m}{b}; \quad \beta_n = \frac{\pi n}{a}$$

Die Berechnung nach dieser Beziehung erfordert einen hohen Rechenaufwand. Mit Hilfe eines Rechenprogramms für den programmierbaren Kleinstrechner K 1002 ist eine einfache Berechnung des Gurtdurchhangs in Abhängigkeit von Tragrollenabstand, Gurtbreite, Material des Gurtes, Fördergutmasse und Dicke des Gurtbandes möglich. Dieses Programm liegt an der TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, vor.

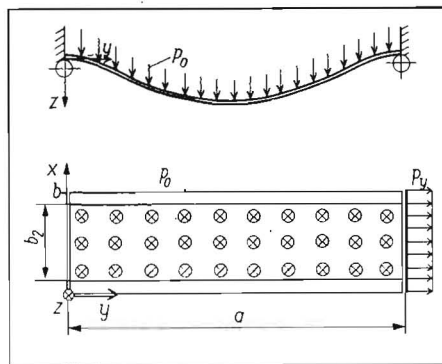


Bild 3. Kräfte am Fördergurt bei Betrachtung als zweiseitig eingespannte Platte

### 4. Berechnung der Antriebsleistung

Die Berechnung der Antriebsleistung eines Gurtbandförderers mit tragrollengestütztem Fördergurt ist im Standard TGL 20-350001 festgelegt. Sie beruht auf der Summation der einzelnen Bewegungswiderstände. Untersuchungen in [4, 7, 8] zeigen, daß die Berechnung nach o.g. Standard nicht für jeden Fall geeignete Ergebnisse liefert. Zur Erhöhung der Genauigkeit der Berechnung nach Standard TGL 20-350001 wird in [4, 7, 8] eine weitere Zerlegung des Fördergurtes und Gutes in folgende Kenngrößen vorgenommen:

- Umlenkwiderstand
- Bewegungswiderstand der Tragrollen
- Walkwiderstand
  - Eindrückrollenwiderstand
  - Schwingbiegewiderstand des Gurtes
  - Walkwiderstand des Fördergurtes.

Diese zusätzliche Aufteilung sollte besonders bei der Berechnung von Förderern angewendet werden, bei denen eine Vergrößerung des Tragrollenabstands oder eine Erhöhung der Fördergeschwindigkeit geplant ist.

Die Berechnung von Gurtbandförderern mit gleitflächengestützten Fördergurten kann analog zum Standard TGL 20-350001 vorgenommen werden. Für die Berechnung des Bewegungswiderstands zum horizontalen Bewegen des Fördergurtes und Gutes muß bei

Gleitgurtförderern folgende Beziehung angewendet werden:

$$W_R = g l [\mu_0 (1 - K_1) m_3 + \mu K_1 (m_2 + m_3)]$$

Nach der Berechnung des Bewegungswiderstands ergibt sich die Antriebsleistung zu:  $P = \sum W v$ .

### 5. Zusammenfassung

Die zusammengestellten Berechnungsgrundlagen zur Bestimmung einzelner Konstruktions- und Betriebsparameter von Gurtbandförderern berücksichtigen den speziellen Einsatzfall zur Futterverteilung in Tierproduktionsanlagen. Diese Berechnungsvorschriften bestätigen die in [2] dargestellten experimentellen Untersuchungen. Sie berücksichtigen besonders solche Parameter, die sich bei der Rekonstruktion bestehender Anlagen verändern können.

### Literatur

- [1] Agrotechnische Forderung an Gurtbandförderer in Produktionsanlagen der Landwirtschaft (Entwurf). FZM Schlieben/Bornim.
- [2] Neumann, H.; Ziesch, M.: Einige Ergebnisse der Untersuchungen zur Optimierung von Bandfütterungsanlagen. agrartechnik 30 (1980) H. 5, S. 221—225.
- [3] TGL 20-350001 Gurtbandförderer; Berechnungsgrundlagen. Ausg. 3.65.
- [4] Petermann, L.: Grundlagen für die Ausarbeitung eines neuen DDR-Standards für gelenkige Tragrollenstationen. Hebezeuge und Fördermittel 11 (1971) H. 11, S. 323—328.
- [5] Grimmer, K.-J.: Über die Beanspruchung und Auslegung von Förderbandtragrollen. In: Böttcher, S.: Fördertechnik, Lehre, Forschung, Praxis. Mainz: Krauskopf-Verlag 1969.
- [6] Ziesch, M.: Einsatzgrenzen rollengetragener und gleitender Fördergurte in Bandanlagen der industriemäßigen Rinderproduktion. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Forschungsbericht 1979 (unveröffentlicht).
- [7] Lang, I.; Schönemann, F.: Tragrollenabstand bei Gurtbandförderern. Hebezeuge und Fördermittel 6 (1966) H. 3, S. 72—75.
- [8] Pajer, G.; Kuhnt, H.; Kurth, F.: Stetigförderer. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.

A 3023

## Kontinuierliche Futterdurchsatzermittlung an stationären Förder- und Verteileinrichtungen in Anlagen der Rinderproduktion

Dozent Dr.-Ing. M. Klose, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

Aus der Sicht der steigenden Rohstoff- und Energiekosten kommt der Futterökonomie in Tierproduktionsanlagen — nachfolgend werden vorzugsweise Milchvieh- und Rindermastanlagen betrachtet — eine außerordentlich große Bedeutung zu. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Tiere täglich und zeitgerecht mit den erforderlichen Energie- und Nährstoffmengen versorgt werden müssen und diese Versorgung z. B. in der Milchproduktion bezüglich der Aufwendungen für das Futter einen Anteil von 50% an den Gesamtaufwendungen des Prozesses hat [1].

Im folgenden Beitrag sollen einige Aspekte zur Schaffung geeigneter Meßeinrichtungen für die Versorgung der Tierbestände mit Futter dargestellt werden.

### 1. Möglichkeiten einer kontinuierlichen Durchsatzmessung

Die in der Rinderfütterung angewendeten Futtermittel streuen bezüglich des Trockenmassegehalts und der Schüttdichte in weiten Grenzen (z. B. Trockenmassegehalt von Silage 17 bis 40%, von Grünfutter 9 bis 21%). Diese Streubreite, vor allem bei den Grundfuttermitteln,

und die unterschiedlichen Häcksellängen sind die Gründe für relativ große objektive Fehler der verwendeten Dosiereinrichtungen, die bei Volumendosierern bis zu  $\pm 20\%$  betragen. Wenn keine prinzipiell neuen Dosierer bzw. Zerkleinerungseinrichtungen entwickelt werden, ist eine entscheidende Verringerung dieses Fehlers nicht zu erwarten. Der Einsatz von Massedosierern, deren Fehler maximal  $\pm 3$  bis  $\pm 5\%$  beträgt, ist technologisch in den vorhandenen industriemäßigen Anlagen nicht möglich. Durch die sich dem objektiven Fehler überlagernden subjektiven Fehler der Futter-