

Tafel 2. Vergleich der Einflußgrößen bei unterschiedlichen Bedingungen (Meßstelle M 1)

Einflußgrößen	Bedingungen	Vergleich der maximal zu erwartenden Kräfte in der Befestigung bei $P_E = 0,001$	
Lagerung	geringe Vorspannung	V 3 (3,2 kN)	V 4 (3,1 kN)
	hohe Vorspannung	V 1 (2,8 kN)	V 2 (2,2 kN)
Stützelement	geringe Vorspannung	V 7 (4,5 kN)	V 8 (3,9 kN)
	hohe Vorspannung	V 1 (2,8 kN)	V 5 (2,4 kN)
Befestigung	geringe Vorspannung	V 8 (3,9 kN)	V 10 (5,8 kN)
	hohe Vorspannung	—	—
Vorspannung	ungedämpfte Verbindung	V 6 (2,2 kN)	V 7 (4,5 kN)
	gedämpfte Verbindung	V 2 (2,2 kN)	V 3 (3,2 kN)
Verbindung	geringe Vorspannung	V 9 (3,2 kN)	V 10 (5,8 kN)
	hohe Vorspannung	V 5 (2,4 kN)	V 6 (2,2 kN)

den. Mit einem entsprechenden Korrosionsschutzmittel versehen, kann die Grenznutzungsdauer der lose aufgelagerten und verspannten Standausrüstung vergrößert werden. Ebenso ist der mehrmalige Einsatz der Ausrüstungselemente nach Aufarbeitung möglich.

Literatur

[1] Wochatz, H.; Wilhelm, W.: Rationalisierung der Vorbereitung und Montage von Ausrüstungen in Tierproduktionsanlagen. *agrartechnik* 31 (1981) H. 2, S. 71—73.

[2] Direktive des X. Parteitag des SED zum Fünfjahrplan für die Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR in den Jahren 1981—1985. Berlin: Dietz Verlag 1981, S. 24.

[3] Ruhnke, F.: Das „Parterre“-System für die Ausrüstung landwirtschaftlicher Produktionsgebäude. *Dt. Agrartechnik* 16 (1966) H. 7, S. 329—331.

[4] Siedel, K.: Beitrag zur Optimierung der Verbindungen Bau—Ausrüstung, dargestellt am Beispiel der Errichtung und Nutzung von Tierproduktionsanlagen. TU Dresden, Dissertation 1975 (unveröffentlicht).

[5] Uhmann, F., u. a.: Einfluß der Aufstallungsformen für Milchkühe auf die Reinheit und den Zeitaufwand für die Reinigung des Euters. *agrartechnik* 27 (1977) H. 11, S. 486—488.

[6] Haker, D.: Entwicklung stationär mechanischer Oberflurermittlungseinrichtungen. IH Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1979 (unveröffentlicht).

[7] Schemel, H.: Weiter- bzw. Neuentwicklung technischer Lösungen für die Gülleabführung. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1979 (unveröffentlicht).

[8] TGL 32303/02 Rinderproduktion; Milchproduktion; Funktionsmaße. *Ausg. 7.76.*

[9] Runge, U.: Belastungsgerechte Gestaltung standardisierter Standausrüstungen in Rinderanlagen. IH Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1980 (unveröffentlicht).

[10] Krone, R.: Untersuchungen der Belastungen an der Standausrüstung für Kühe. TU Dresden, Dissertation 1979 (unveröffentlicht).

[11] Wetzel, K.: Optimale materialökonomische Gestaltung von Standausrüstungen für Milchvieh. IH Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1979 (unveröffentlicht).

[12] Schreck, W.: Korrosionsschäden an Standausrüstungen in Tierproduktionsanlagen und deren Vermeidung. *agrartechnik* 30 (1980) H. 9, S. 392—393.

[13] Krüger, D.: Entwicklung eines Parterresystems für die Haltung von Milchvieh am Beispiel der kombinierten Freßliegebox. *agrartechnik* 30 (1980) H. 1, S. 32—34.

[14] Raumstabile Einrichtung mit Gelenken zum Halten landwirtschaftlicher Nutztiere. DDR-WP Nr. 216303, Int. Kl. A 01 k, Anmeldetag: 18. Oktober 1979.

[15] Garske, W.: Einordnung neuer technischer Lösungen in ausgewählte verfahrenstechnologische Haltungsformen. IH Berlin-Wartenberg, Teilforschungsbericht 1979 (unveröffentlicht).

[16] Holz, J.: Ausrüstungslösungen für den materialoptimierten Ausbau. *agrartechnik* 29 (1979) H. 4, S. 157—160.

[17] Wetzel, K.: Materialminimierung bzw. Materialsubstitution von Standausrüstungselementen für Milchvieh mittels Belastungsermittlung. IH Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1980 (unveröffentlicht).

[18] Wetzel, K.: Untersuchungen zur elastischen Gestaltung von Standausrüstungen für Milchvieh. *agrartechnik* 30 (1980) H. 9, S. 398—402.

[19] Garske, W.: Materialminimierte Standausrüstungen für Milchvieh mit minimaler Einspannung und deren Einordnung in technologisch bedingte Stallquerschnitte. IH Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1980 (unveröffentlicht).

[20] Adapter zur Aufnahme raumstabiler Einrichtungen zum Halten landwirtschaftlicher Nutztiere. DDR-WP Nr. 223626, Int. Kl. E 04 H, Anmeldetag: 1. September 1980. A 3026

Physikalisch-mechanische Eigenschaften der Futtermittel für die Rinderproduktion und ihre Auswirkungen auf die Fördereinrichtungen

Dipl.-Ing. H. Neumann, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

Verwendete Formelzeichen

b	m	Gurtbandbreite
b _S	m	nutzbare Gurtbandbreite
F _N	N	Normalkraft
F _R	N	Gleitreibungskraft
F _{R0}	N	Haftreibungskraft
l _H	mm	Häcksellänge
v _G	m/s	Gleitgeschwindigkeit
μ		dynamischer Reibwert
μ ₀		statischer Reibwert
μ ₁		dynamischer Reibwert bei v _G = 1,0 m/s
μ ₂		dynamischer Reibwert bei v _G = 2,0 m/s

1. Problemstellung

In den letzten Jahren hat sich der Einsatz von mobilen und stationären Mechanisierungsmitteln in der Futtermittelproduktion sowie in der Tierproduktion wesentlich erhöht. Für die weitere Mechanisierung und Automatisierung auf diesem Gebiet kommt es von seiten des Konstrukteurs darauf an, die bereits bestehenden technischen Lösungen zu verbessern bzw. neue Lösungen zu erarbeiten. Einen wesentlichen Einfluß auf die Konstruktion und den Einsatz der Mechanisierungsmittel haben die

physikalisch-mechanischen Eigenschaften der zu bearbeitenden bzw. zu transportierenden Stoffe [1]. In den dazu durchgeführten Untersuchungen wird allerdings nur ungenügend auf die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Eigenschaften und die Versuchsbedingungen eingegangen, so daß diese Angaben nicht allgemeingültig sind. So liegt z. B. die Schüttdichte von losem Heu nach [2] in einem Bereich von 100 bis 170 kg/m³ und von gering gepreßtem Heu nach [3] im Bereich von 70 bis 90 kg/m³. Für die Angabe des Schüttwinkels und der Reibwerte landwirtschaftlicher Stoffe sind

zwischen den einzelnen Autoren ebenfalls Differenzen festzustellen.

Nachfolgend soll ein Verfahren zur Bestimmung der dynamischen und statischen Reibwerte in Abhängigkeit von der Kombination der Reibpartner, der Gleitgeschwindigkeit, dem Anpreßdruck, der Teilchengröße und dem Trockensubstanzgehalt beschrieben werden. Die Bestimmung der Reibwerte wurde gewählt, weil diese die Fördervorgänge ganz wesentlich beeinflussen.

2. Bedeutung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften für die Fördervorgänge

Die wichtigsten Faktoren, die auf den Fördervorgang bei Futtermitteln in Tierproduktionsanlagen einwirken, sind in Tafel 1 zusammengestellt. Dabei wirken die Fütterungstechnologie, die Futtermiteigenschaften und die Umweltfaktoren nicht nur auf den Fördervorgang, sondern bestimmen die Konstruktion der Fördereinrichtungen. Bei der Verwendung von mechanischen Stetigförderern (Gurtbandförderer, Schneckenförderer, Becherwerke, Kettenförderer) sind aus der Vielzahl der mechanischen Eigenschaften besonders die Schüttdichte, der Schüttwinkel, der dynamische und statische Reibwert zu beachten. Diese sind aber ihrerseits wiederum von Trockensubstanzgehalt, Teilchengröße und Konsistenz abhängig. Die Grundlage für die Projektierung eines Förderers bildet der Volumen- oder Masseudurchsatz. Diese beiden Größen hängen direkt vom Schüttwinkel bzw. von der Schüttdichte ab. Nach [4] sollen bei Gurtbandförderern in Tierproduktionsanlagen der maximale Masseudurchsatz 50 t/h bzw. der maximale Volumendurchsatz 250 m³/h betragen. Dabei werden eine Schüttdichte von 200 kg/m³ und ein Schüttwinkel von 25° zugrunde gelegt. Der Schüttwinkel bleibt während des Fördervorgangs mit Gurtbandförderern durch die auftretenden Gurtbewegungen nicht konstant. Zur Vermeidung von Gutverlusten an der Bandstrecke von ungemuldeten Gurtbandförderern sollte unbedingt die nach Gl. (1) bestimmte nutzbare Gurtbandbreite b_s eingehalten werden [5]:

$$b_s = 0,9 b - 0,05. \quad (1)$$

Voraussetzung dafür ist eine mittige Gutaufgabe.

Die Reibung hat auf den Transport von Futtermitteln sowohl positive als auch negative Auswirkungen. Durch die Reibung wird überhaupt erst ein Fördervorgang mit Gurtbandförderern möglich. Ein hoher dynamischer Reibwert zwischen Fördergut und Gurtband verringert die Zeit für das Beschleunigen des Gutes an der Aufgabestelle. Dabei vermindert sich gleichzeitig die Entmischung des Gutstroms. An der Abgabestelle wirkt sich der hohe Reibwert zwischen Fördergut und Gurtband negativ aus. Besonders an Abstreichern treten noch verstärkt durch die Reibung zwischen Fördergut und Abstreicher Stauungen auf, und der kontinuierliche Gutstrom wird gestört. Das trifft in hohem Maß beim Transport von Futtermitteln mit Gurtbandförderern zu.

3. Bestimmung des dynamischen und statischen Reibwerts von Futtermitteln

Im folgenden werden ein Verfahren zur Bestimmung des dynamischen und statischen Reibwerts von Futtermitteln in Verbindung mit unterschiedlichen Werkstoffen sowie die dabei gewonnenen Ergebnisse näher erläutert.

Tafel 1. Einflußfaktoren auf den Transport von Futtermitteln mit stationären Förderern in Tierproduktionsanlagen

Fütterungstechnologie	Futtermiteigenschaften	Konstruktion der Fördereinrichtung	Umweltfaktoren
Rationstyp	Schüttdichte	Fördererart	Temperatur
Komponenten der Ration	Schüttwinkel	Baugröße	Luftfeuchtigkeit
Futtermenge	Trockensubstanzgehalt	Fördergeschwindigkeit	Witterungseinflüsse
Fütterungszeit	Teilchengröße	Werkstoff	Stalluft
Verteilgenauigkeit	statischer Reibwert	Oberflächenbeschaffenheit der die Futtermittel berührenden Teile	
	dynamischer Reibwert	Einstellparameter	
	Konsistenz		
	aerodynamische Kenngrößen		
	rheologische Kenngrößen		

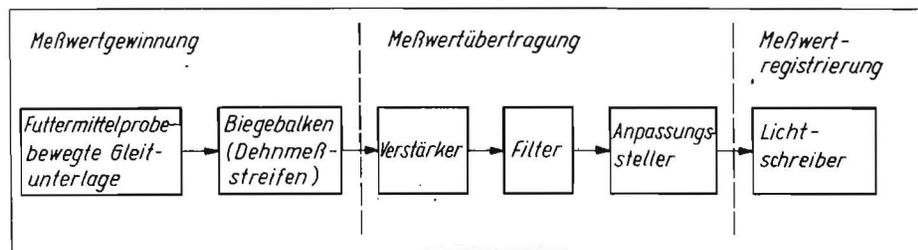


Bild 1. Meßkette zur experimentellen Bestimmung der Reibwerte von Halmfuttermitteln

3.1. Ausgangspunkt der Untersuchungen

Für eine Analyse des Abgabevorgangs bei Gurtbandförderern in Tierproduktionsanlagen ist die genaue Kenntnis des dynamischen und statischen Reibwerts zwischen Fördergut (Futtermittel) und verschiedenen Werkstoffen (Gurtband, Abstreichblech, Schurre) von großer Wichtigkeit. Da die Reibwerte von mehreren Größen bestimmt werden, sind viele in der Literatur vorhandene Angaben nicht ohne weiteres nutzbar. Die Größen, die den dynamischen und statischen Reibwert beeinflussen, sind in Tafel 2 zusammengestellt. Zur genauen Bestimmung der Reibwerte müssen die angegebenen Größen variiert werden können. In den Untersuchungen wurden hauptsächlich halmige Futtermittel verwendet, da bei körnigen bzw. pelletierten Futtermitteln der Einfluß der angegebenen Größen geringer ist und deshalb die in der Literatur angegebenen Werte nicht einen so großen Streubereich aufweisen. Die Auswahl der Werkstoffe für die Gleitpartner in den Reibpaarungen richtete sich nach folgenden Gesichtspunkten:

- Gurtbandarten, die in den Tierproduktionsanlagen verwendet werden (Gummi- und PVC-Fördergurte)
- Werkstoffe, die im Landmaschinenbau Anwendung finden (Stahl, Aluminium, Polyäthylen, Polypropylen).

3.2. Durchführung der Untersuchungen

Grundlage für den Versuchsstand zur Ermittlung der Reibwerte war ein Gurtbandförderer. Das Obertrum des Gurtbands stützte sich dabei auf einer Gleitfläche ab. Die Geschwindigkeit des Gurtbands ließ sich stufenlos regeln. Das Gurtband bildete entweder selbst die Gleitfläche bzw. es bewegte die Gleitflächen aus Stahl, Aluminium, Polyäthylen und Polypropylen. Die Futtermittel befanden sich während der Versuchsdurchführung innerhalb eines Rahmens. Um ein Berühren des Rahmens mit der Gleitfläche zu verhindern, waren an ihm zur Abstützung vier Radialrillenkugellager angebracht. Damit ein Bewegung des Rahmens mit der Gleitfläche nicht auftrat, war er über eine gelenkige Verbindung festgelegt. Die zwischen Gleitfläche und dem im Rahmen befindlichen

Tafel 2. Einflußgrößen auf den dynamischen und statischen Reibwert von Futtermitteln

dynamischer Reibwert	statischer Reibwert
Häcksellänge, Korngröße	Häcksellänge, Korngröße
Flächenpressung	Flächenpressung
Feuchtigkeit	Feuchtigkeit
Zeitdauer des Gleitens	Berührungszeit
Knickung der Halme	der Reibpartner
Oberflächenbeschaffenheit der Gleitfläche	Knickung der Halme
Gleitgeschwindigkeit	Lage der Halme
Lage der Halme	
Konsistenz	Konsistenz

Futtermittel auftretende Reibkraft wurde über diese gelenkige Verbindung auf einen Kraftmeßgeber übertragen. Der Kraftmeßgeber bestand aus einem Biegebalken, wobei die Messung der Reibkraft nach dem Prinzip der elektrischen Dehnungsmessung erfolgte. Durch Kompensationsmeßstreifen wurde der Temperatureinfluß ausgeschaltet. Zur Verstärkung des Meßsignals stand eine Universal-Meßeinrichtung UM 111 zur Verfügung. Als Registriereinrichtung der Meßsignale wurde ein 8-Kanal-Lichtschreiber 8LS-1 verwendet. Da die Meßwerte großen Schwankungen unterlagen (z. B. durch ständige Veränderung der Oberfläche des Gleitmaterials), war es erforderlich, dem Lichtschreiber einen Tiefpaßfilter SM 22 mit einer einstellbaren Frequenz von 0,71 bis 22,4 Hz vorzuschalten. Die gesamte Meßkette ist im Bild 1 dargestellt.

Die Reibkräfte wurden ohne und mit Belastung der Futtermittel bestimmt. Die Belastung der Futtermittel erfolgte mit einer Stahlplatte, auf die noch verschiedene Massestücke aufgelegt wurden. Aufgrund der Größe des Rahmens von 300 mm × 300 mm, in dem sich die Futtermittel befanden, ergaben sich mittlere Anpreßdrücke von 0,005, 0,033, 0,044, 0,054, 0,065 und 0,076 N/cm².

Bei der Ermittlung des Anpreßdrucks mußte davon ausgegangen werden, daß zum einen die

	Trocken- substanz- gehalt	Gleitflächenmaterial Stahlblech			PVC-Gurtband		
		μ_0	μ_1	μ_2	μ_0	μ_1	μ_2
Grassilage ($h_H = 128$ mm)	34	0,68	0,48	0,74	0,36	0,23	0,23
Klee-Gras-Gemisch ($h_H = 45$ mm)	18	0,88	0,87	0,62	1,11	0,97	0,69
Grünroggen, ungehäcksel ($h_H = 525$ mm)	24	0,79	0,52	0,65	0,63	0,47	0,58

Tafel 3
Dynamische und
statische Reibwerte
einiger Futtermittel

örtliche Druck auf die Halme höher ist und damit die Pflanzensäfte schneller austreten. Eine Knickung der Halme verursacht ähnliche Wirkungen.

Bei Futtermitteln mit hohem Trockensubstanzgehalt (Stroh, Heu) resultieren die hohen Reibwerte für geringe Belastungen weniger aus den Adhäsionskräften, sondern die Ursache dafür ist in der Oberflächenrauigkeit des Gleitmaterials zu suchen. In den Vertiefungen der Oberfläche können sich Halmeteilchen verhaften, was den hohen Widerstand hervorruft. Mit zunehmender Versuchsdauer zeigte sich dann ein gewisser Glättungseffekt, wobei dann die ermittelten Reibwerte niedriger lagen. Das erneute Ansteigen der Reibwerte über der Belastung wird durch die zunehmende Deformation des Futtermittels verursacht.

Hinsichtlich der Häcksellänge konnte festgestellt werden, daß die Futtermittel mit kleinerer Häcksellänge dynamische Reibwerte aufweisen, die im wesentlichen geringfügig unterhalb der Werte für die Futtermittel mit großer Häcksellänge liegen. Als Ursachen dafür sind einmal die bessere Schmierwirkung und zum anderen die geringere Deformation der dichter liegenden Halme zu nennen. Untersuchungen zum Einfluß der Halmrichtung (längs oder quer zur Bewegungsrichtung geordnet) wurden nicht durchgeführt, da in den real ablaufenden Reibprozessen die Halme der Futtermittel ohnehin ungeordnet liegen.

Die Belastung, die Feuchtigkeit und die Häcksellänge haben auf den statischen Reibwert die gleiche Wirkung wie auf den dynamischen Reibwert. Eine Untersuchung des Einflusses der Berührungzeit der Reibpartner fand nicht statt.

3.4. Schlußfolgerungen für die Konstruktion und den Einsatz von Fördereinrichtungen in Rinderproduktionsanlagen

Bei der stationären Fütterung gibt es folgende Stellen, an denen eine Reibung zwischen Futtermittel und einem Gleitmaterial auftritt (ohne Beschickung der Futterstrecke von Hochsilos):

- im Dosierer an den Wänden und am Gleitboden
- an der Aufgabestelle auf den Gurtbandförderer mit dem Gurtband und den Wänden des Aufgabekastens
- an den Führungsleisten auf der Bandstrecke
- an der Übergabestelle mit dem Gurtband, dem Abstreichblech und den Leiteinrichtungen
- beim obenliegenden Abstreichband mit dem Gurtband und dem Abstreichblech.

Bei der Auslegung dieser Stellen kommt es darauf an, die Werkstoffe mit den günstigsten Reibwerten zu den Futtermitteln auszuwählen. Von den untersuchten Werkstoffen Stahl, Aluminium, Polyäthylen und Polypropylen wies Stahl die niedrigsten Reibwerte mit Futtermitteln auf. Die weitere Reihenfolge läßt sich schwer definieren, da die Werte bei den einzelnen Futtermitteln unterschiedlich waren. Die für das PVC-Gurtband ermittelten Reibwerte liegen im allgemeinen unter denen für Gummigurtbänder. Wie die Untersuchungen zeigten, hat der Anpreßdruck der Futtermittel auf die Gleitfläche für Saftfutter (Trockensubstanzgehalt < 50%) keinen wesentlichen Einfluß. Das bedeutet für die Abgabe der Futtermittel mit Abstreichern, daß die Verringerung der Stauneigung nicht durch eine Minderung des Anpreßdrucks am Abstreichblech erzielt werden kann. Wegen der geringen Schüttdichte der Rauhfuttermittel (Trok-

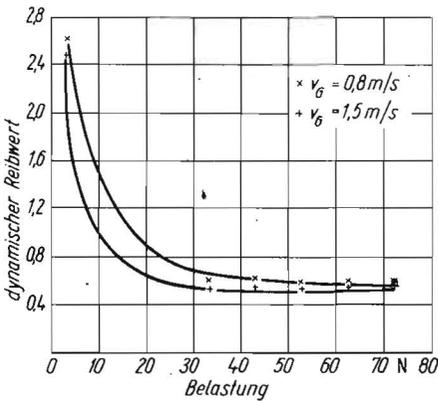


Bild 2. Dynamische Reibwerte zwischen Maissilage und Stahlblech in Abhängigkeit von der Belastung

3.3. Ergebnisse der Untersuchungen

In Tafel 3 sind die ermittelten dynamischen und statischen Reibwerte für einige ausgewählte Futtermittel zusammengestellt. Dabei handelt es sich um die Mittelwerte aus mehreren Messungen und von verschiedenen Belastungssstufen.

Wie im Bild 2 zu erkennen ist, sind die dynamischen Reibwerte ab einer Belastung von 25 N, das entspricht einem mittleren Anpreßdruck von $0,028$ N/cm², nahezu konstant. Der gesamte Kurvenverlauf im Bild 2 läßt sich nach [6] wie folgt erklären:

Der dynamische Reibwert setzt sich aus einer Adhäsions- und einer Deformationskomponente zusammen. Im Bereich einer geringen Belastung (< 20 N) hat die Deformation des Futtermittels eine untergeordnete Bedeutung, d. h. der hohe dynamische Reibwert ergibt sich aus der Adhäsion zwischen Gleitfläche und Futtermittel. Die geringe Belastung wurde bei den Untersuchungen durch die niedrige Höhe des im Rahmen befindlichen Futtermittels (rd. 50 mm) erzielt. In der Praxis kommen allerdings solche geringen Belastungen sehr selten vor. Deshalb erfolgte die Berechnung der in Tafel 3 angegebenen Reibwerte ohne Berücksichtigung der in dem geringen Belastungsbereich ermittelten Werte. Da mit steigender Belastung die Deformation des Futtermittels auf der Gleitfläche zunimmt, müßte der dynamische Reibwert wieder ansteigen. Durch die höhere Belastung kommt es jedoch zum Herauspressen der Pflanzensäfte aus den Halmen, so daß sich zwischen Futtermittel und Gleitfläche eine Schmierschicht bildet und damit der Bereich der Festkörperreibung verlassen wird. Für die anderen untersuchten Reibpaarungen konnten ähnliche Kurvenverläufe wie für Maissilage ermittelt werden. Zur Abhängigkeit des dynamischen Reibwerts von der Gleitgeschwindigkeit lassen sich keine eindeutigen Aussagen treffen. Bei nicht elastischen Werkstoffen ergibt sich für den dynamischen Reibwert bei geringen Gleitgeschwindigkeiten im allgemeinen ein Maximum, bei großen Gleitgeschwindigkeiten ein Minimum [6]. Die angegebenen Gleitgeschwindigkeiten liegen jedoch in einem Bereich über 2,0 m/s. Das Absinken des dynamischen Reibwerts wird mit der nicht ausreichenden Zeit, feste Adhäsionsverbindungen zu bilden, begründet. Im Geschwindigkeitsbereich bis 2,0 m/s treten genügend feste Adhäsionsverbindungen auf, wobei die Festigkeit dieser Verbindungen von der Reibungsart (Festkörper- oder Mischreibung) abhängt. Der Zustand der Mischreibung ergibt sich mit sinkendem Trockensubstanzgehalt bereits bei niedrigen Belastungen und relativ geringen Geschwindigkeiten. Der Übergang zwischen reiner Festkörper- und Mischreibung erfolgt bei Materialien mit rauen Oberflächen ebenfalls früher als bei glatten Gleitmaterialien. Das ist dadurch zu erklären, daß wegen der Erhöhungen der

Stahlplatte nicht gleichmäßig über der gesamten Futtermitteloberfläche auflag und zum anderen das Futtermittel mit dem Gleitmaterial keine geschlossene Auflagefläche bildete. Die angegebenen Werte können deshalb nur Mittelwerten entsprechen.

Die Aufnahme der Meßwerte erfolgte bei den Gleitgeschwindigkeiten 0,8, 1,0, 1,5 und 2,0 m/s. Die Gleitgeschwindigkeiten von 1,5 und 2,0 m/s wurden deshalb mit in die Untersuchungen einbezogen, um bei einer möglichen Erhöhung der Gurtgeschwindigkeit in den Tierproduktionsanlagen auf 2,0 m/s Kenntnisse über das Verhalten der Futtermittel zu gewinnen.

Bei den Versuchen mußten die Futtermittel von Hand locker in den Rahmen gefüllt werden, wobei die Halme ungeordnet lagen. Die Aufzeichnung der Meßwerte mit dem Lichtschreiber erfolgte über die gesamte Bewegungsdauer der Gleitfläche, und damit ließ sich die Meßzeit (entspricht der Bewegungsdauer der Gleitfläche) aus Gleitflächenlänge und Gleitgeschwindigkeit ermitteln. Am Beginn der Bewegung muß die wegen der Adhäsion zwischen Gleitmaterial und Futtermittel bestehende Haftreibungskraft überwunden werden, d. h. die gemessene Reibkraft steigt auf einen Spitzenwert und fällt danach wieder ab. Mit diesem Spitzenwert läßt sich aus dem Meßschrieb die Haftreibungskraft direkt ablesen. Die Gleitreibungskraft ergibt sich als Mittelwert durch das Ausplanimetrieren des Meßschriebs nach dem Spitzenwert. Aus den gemessenen Reibkräften und der bekannten Belastung lassen sich der dynamische und der statische Reibwert wie folgt errechnen:

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \quad (2)$$

$$\mu_0 = \frac{F_{R0}}{F_N} \quad (3)$$

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/cm² 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 ²	Fördergutquerschnittsfläche
a	m	Tragrollenabstand
b	m	Gurtbreite
b ₂	m	nutzbare Gurtbreite
d	mm	Tragrollendurchmesser
e	m	Abstand der Tragrollenlager einer Tragrolle
F _{A1}	N	Axialkraft des Tragrollenlagers
F _D	N	Kraft an einer Tragrolle, resultierend aus dem Fördergut
F _G	N	Kraft an einer Tragrolle, resultierend aus der Eigenmasse des Fördergutes
F _{R1,2}	N	Radialkraft der Tragrollenlager
h	mm	Gurtdurchhang
h _K	m	Höhe der Wellenkante beim Wellenkantengurt bzw. des Kastens beim Kastengurt
K	N · cm	Platten- bzw. Gurtsteifigkeit
K ₁		Verhältnis von belasteter zu unbelasteter Gurtbreite
L _h	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 _T	kg	Masse einer Tragrolle
m ₂	kg/m	Fördermasse je Meter Gurtbandlänge
m ₃	kg/m	Gurtmasse je Meter Gurtbandlänge
P	kW	Antriebsleistung des Gurtbandförderers
p ₀	N/cm ²	Belastung in z-Richtung je Flächeneinheit
p _y	N/cm ²	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 _R	N	Bewegungswiderstand zum horizontalen Bewegen des Fördergutes bei Gleitgurtförderern
x _S ; y _S	m	Koordinaten des Schwerpunktes
x; y	m	Koordinaten
α	°	Schüttwinkel des Fördergutes
α _m , β _n	°	Rechengrößen
β	°	Muldungswinkel des Fördergutes
σ _y	N/cm ²	Gurtspannung in y-Richtung
ρ	kg/m ³	Schüttdichte des Fördergutes
μ ₀	—	Gleitreibungsbeiwert des unbelasteten Fördergutes

μ ₂	—	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