

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.

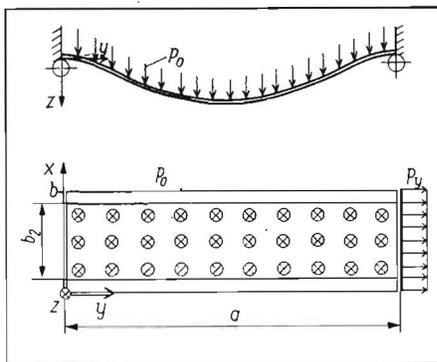


Bild 3. Kräfte am Fördergurt bei Betrachtung als zweiseitig eingespannte Platte

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 Fördergutes und Gutes in folgende Kenngrößen vorgenommen:

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

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 Fördergutes 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 ± 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-

Tafel I. Varianten zur kontinuierlichen Bestimmung der Trockenmasse eines Futtermittels (m_{ges} Gesamtmasse, m_{tr} Trockenmasse, TM Trockenmassegehalt, V_{ges} Gesamtvolumen, ρ_s Schüttdichte, ρ_{str} Schüttdichte der Trockenmasse, bezogen auf das Gesamtvolumen)

Variante	zu ermittelnde Parameter	mathematischer Zusammenhang
1	m_{ges} , TM	$m_{tr} = m_{ges} \cdot TM \cdot \frac{1}{100}$
2	m_{ges} , ρ_s	$m_{tr} = m_{ges} \cdot f_1(\rho_s) \cdot \frac{1}{100}$; $TM = f_1(\rho_s)$
3	m_{ges} , V_{ges}	$m_{tr} = m_{ges} \cdot f_2\left(\frac{m_{ges}}{V_{ges}}\right) \cdot \frac{1}{100}$; $TM = f_2\left(\frac{m_{ges}}{V_{ges}}\right)$
4	V_{ges} , TM	$m_{tr} = \frac{f_3(TM)}{V_{ges}}$; $\rho_{str} = f_3(TM)$
5	V_{ges} , ρ_s	$m_{tr} = \frac{f_4(\rho_s)}{V_{ges}}$; $\rho_{str} = f_4(\rho_s)$

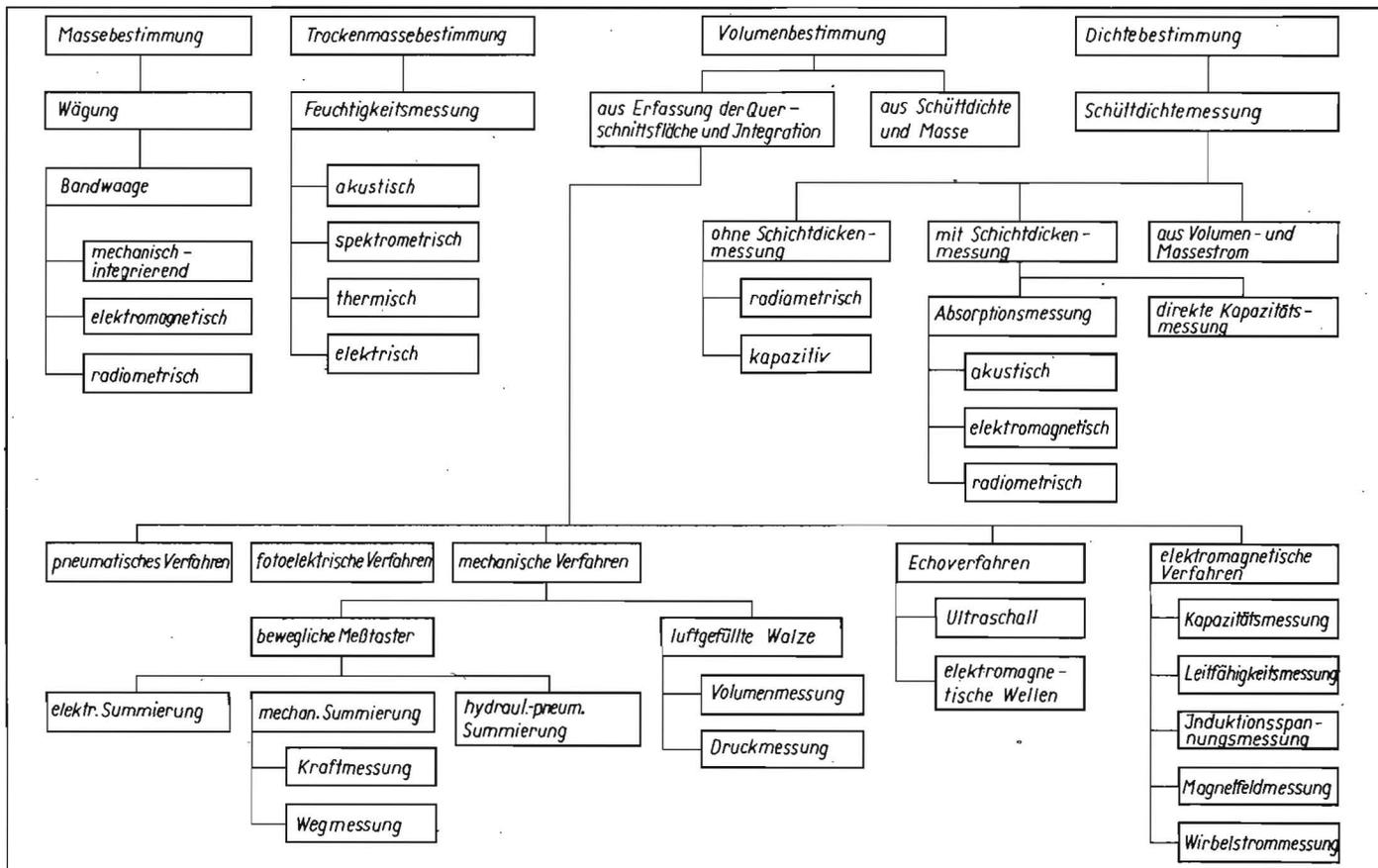
verantwortlichen kann sich der Gesamtfehler bei der Fütterung in den Grenzen von ± 10 bis $\pm 40\%$ bewegen, wie aus Untersuchungen an der TU Dresden hervorging [1]. Bei einem durchschnittlichen Grundfutterbedarf je Großvieheinheit (GVE) von rd. 35 kg/a entsteht bei einem Fehler von $+20\%$ in einer Anlage mit 1930 Tieren ein täglicher Mehrverbrauch von etwa 13,5 t, der aus der Sicht der steigenden Rohstoff- und Energiekosten nicht zugelassen werden kann. Bei einem negativen Fehler, d.h. wenn die Tiere weniger als die Normration erhalten, kommt es zu einem Leistungsabfall bezüglich der Milch bzw. zu einer Verringerung der Massezunahme der Mast-

tiere. Auch dieses ist volkswirtschaftlich unökonomisch. Da andererseits derzeitig der objektive Fehler der Dosierer nicht verringert werden kann, der subjektive nur durch jahrelange Erfahrungen positiv zu beeinflussen ist, kommt es darauf an, Möglichkeiten zu finden, das einer Anlage zugeführte Futter quantitativ und eventuell auch qualitativ zu erfassen, um Unterschiede z.B. durch eine veränderliche Beschickungsdauer ausgleichen zu können, was sowohl für die leistungsgerechte Fütterung von Einzeltieren als auch von Gruppen erforderlich wäre. Bei der Einzeltierfütterung wäre auch noch das Problem der Tiererkennung zu lösen, auf das in diesem

Zusammenhang nicht eingegangen werden soll. Unabhängig von der Art der Fütterung ergibt sich folglich die Forderung nach Geräten bzw. Verfahren zur Erfassung und Registrierung von Quantität und Qualität des Futters, was möglichst während des Transports oder der Verteilung in der Anlage, d.h. direkt während des Fütterungsprozesses bzw. kurz davor, erfolgen muß. Derartige Geräte, die eine kontinuierliche Kontrolle ermöglichen, wären neben dem o.g. Einsatzbereich auch für die Schnellbestimmung bei der Ein- bzw. Auslagerung oder beim Verkauf von Futter von großem Nutzen, so daß ein breiter Einsatzbereich möglich wäre.

Zur schnellen Lösung des Problems in den bereits bestehenden industriemäßigen Anlagen wurde zunächst der Einsatz einer Bandwaage in den Transporteinrichtungen zur kontinuierlichen Massebestimmung vorgesehen. Derartige Bandwaagen werden in mehreren Ausführungen von der Industrie angeboten. Sie erfordern jedoch relativ hohe Investitionen und erfüllen bezüglich der Genauigkeit die ATF [2] nur bei Einhaltung aller Bedingungen, vor allem bei einer ordnungsgemäßen Wartung und Pflege, was unter den praktischen Bedingungen einer Anlage nur schwer zu realisieren ist. Unter Beachtung der o.g. Streuung des Trockenmassegehalts des Grundfutters reicht die Massebestimmung allein nicht aus, so daß sich zur Realisierung der Futterökonomie eine Gutfeuchtebestimmung anschließen muß. Eine Analyse der Verfahren zur Bestimmung der Gutfeuchte zeigt, daß es derzeit kein Gerät für die kontinuierliche Messung der Gutfeuchte an Bandanlagen gibt und diskontinuierliche Schnellbestimmungsverfahren nicht unter allen Bedingungen einsetzbar sind bzw. die vorhan-

Bild 1. Schematische Darstellung von Verfahren zur Ermittlung von Parametern für eine kontinuierliche Futterquantitäts- und -qualitätsbestimmung in der Tierproduktion



denen einen zu großen Zeitaufwand erfordern. Die Quantität des eingesetzten Futters läßt sich also mit geringem Fehler über die Masse bestimmen; eine mögliche Qualitätsbestimmung über die Trockenmasse ist wesentlich komplizierter.

Ohne näher auf das DDR-Futterbewertungssystem [3] einzugehen, bei dem die Qualität des Futters nach bestimmten Kennzahlen charakterisiert wird, ist durch eine Bestimmung von

- Trockenmassegehalt oder
- Trockenmassegehalt und Rohproteingehalt oder
- Trockenmassegehalt und Rohnährstoffgehalt

eine Berechnung der Futterqualität möglich, wobei die genannten Verfahren eine ansteigende Tendenz bezüglich der Genauigkeit haben. Da aber bisher noch kein industriell einsetzbares Verfahren zur kontinuierlichen Bestimmung des Rohprotein- oder Rohnährstoffgehalts bekannt geworden ist, soll zunächst versucht werden, den Trockenmassegehalt als Grundvoraussetzung für alle 3 Berechnungsverfahren zu bestimmen.

Zur Lösung des Problems ist eine Kombination je zweier der nachfolgend genannten Parameter erforderlich:

- Gesamtmasse m_{ges}
- Gesamtvolumen V_{ges}
- Trockenmassegehalt TM
- Schüttdichte ρ_s

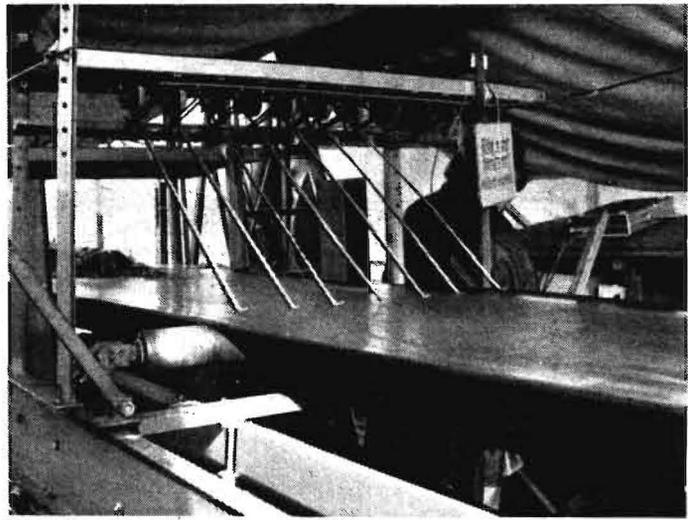
Dabei ergeben sich die in Tafel 1 zusammengestellten Varianten [4]. Die Genauigkeit der Varianten entspricht der Rangfolge in der Tafel, d. h. die erste Variante ist den anderen vorzuziehen, da mit der Ermittlung der Parameter m_{ges} und TM eine direkte Bestimmung der Trockenmasse möglich ist. Bei den anderen Varianten sind zusätzliche, erst zu ermittelnde funktionelle Abhängigkeiten zu berücksichtigen, die weitere Fehlermöglichkeiten einschließen. Grundsätzlich ist auch die Kombination von drei Parametern denkbar. Derartige Varianten sollen zunächst nicht untersucht werden, da mit der Anzahl der Parameter eine Vergrößerung des meßtechnischen Aufwands und damit der Fehlerquellen zu erwarten ist.

Das Problem der kontinuierlichen Durchsatzmessung unter Berücksichtigung qualitativer Kenngrößen ist folglich lösbar, wenn es gelingt, eine kontinuierliche Bestimmung zweier der in der Tafel 1 aufgeführten Parameter mit möglichst geringem Aufwand und entsprechender Betriebssicherheit zu erreichen. Bekannte bzw. mögliche Verfahren zur Bestimmung der Parameter m_{ges} , V_{ges} , TM und ρ_s sind schematisch im Bild 1 dargestellt, von denen einige bereits untersucht werden. Im folgenden sollen einige mit geringem Aufwand und kurzzeitig realisierbare Einrichtungen dieser Verfahren erläutert werden.

2. Meßeinrichtungen zur kontinuierlichen Masse- und Volumenbestimmung

Auf der Suche nach geeigneten Masse-Meßeinrichtungen wurde eine elektromechanische Bandwaage entwickelt, die sich direkt in den Förderer T 430 einbauen läßt und nur geringen konstruktiven und elektrischen Aufwand erfordert [5]. Die Erprobung auf einer T 430-Bandstrecke hat gezeigt, daß diese Bandwaage den ATF [2] bezüglich des Fehlers genügt. Voraussetzung ist eine konstante Gurtvorspannkraft, die bei massebelasteten Gurtspanneinrichtungen gewährleistet wird. Eine Erprobung unter den Bedingungen einer Tierproduktionsanlage steht noch aus.

Bild 2
Variante einer Einrichtung zur Querschnittsermittlung mit Hilfe von sieben Meßtastern



Für geeignete Volumen-Meßeinrichtungen wurden sowohl mechanische als auch elektromagnetische Verfahren (Bild 1) untersucht, bei denen die Ergebnisse der mechanischen Verfahren zu einem gewissen Abschluß gelangt sind, die einige Schlußfolgerungen zulassen. Die Querschnittsfläche wird durch bewegliche Meßtaster (Bild 2) abgetastet, und die Ausschläge der einzelnen Hebel werden summiert. Diese Addition erfolgt entweder mechanisch, elektrisch oder kombiniert, wobei folgende grundsätzliche Prinzipien möglich sind:

- Aufnahme und Addition der Ausschläge über einen Seilzug mit nachfolgender Wandlung des entstandenen Summensignals über Wegaufnehmer in elektrische Signale
- Aufnahme und Addition der Ausschläge über Feder-elemente und Messung der Gesamtkraft oder des Gesamtmoments
- Wandlung der Einzelausschläge über Potentiometer in elektrische Signale (Widerstand) und Summierung durch Messung des Gesamtwiderstands
- Wandlung der Einzelausschläge über Wegaufnehmer in elektrische Signale (Spannung) und Summierung der Einzelspannungen.

Experimentelle Untersuchungen [5] ergaben bei allen Varianten unter statischen Bedingungen eine hohe Genauigkeit. Im Betrieb, d. h. bei dynamischen Beanspruchungen der Taster, erwies sich nur die vierte Variante als geeignet, da die Wandlung der Wegstrecke in einem Differentialtransformator berührungslos erfolgt und die Trägheit des Systems nur von der Masse der Taster und des Transformator-kerns abhängt. Äußere Einflüsse wirken nicht auf die Wandlercharakteristik, was unter den Bedingungen einer Tierproduktionsanlage außerordentlich wichtig ist.

Mit einer derartigen Meßeinrichtung konnten eine Volumenbestimmung unter praxisähnlichen Bedingungen mit einem maximalen Fehler von $\pm 10\%$ und eine kontinuierliche Dichtebestimmung aus Masse und Volumen mit einem maximalen Fehler von $\pm 15\%$ durchgeführt werden. Dieser Fehler erscheint zwar noch sehr hoch, stellt gegenüber den Volumendosierern und unter Beachtung der relativ einfachen und nicht aufwendigen Meßeinrichtungen bereits einen ersten Schritt auf dem Weg zur Lösung der o. g. Problematik dar. Die Erprobung in einer Tierproduktionsanlage ist noch erforderlich.

Untersuchungen mit HF-Systemen zur Querschnittsflächenmessung und zur Bestimmung

der Gutfeuchte über elektrische Eigenschaften der Futtermittel sind noch nicht abgeschlossen, eröffnen aber eventuell weitere Möglichkeiten.

3. Zusammenfassung

Eine kontinuierliche Futterdurchsatzmessung unter Berücksichtigung von Kenngrößen der Futterqualität ist durch die Berücksichtigung nur eines Parameters, nach denen derzeitige Futterdosiereinrichtungen aufgebaut sind, nicht möglich. Als Größe zur Kennzeichnung der Futterqualität kann der Trockenmassegehalt der Futtermittel empfohlen werden, da eine kontinuierliche Bestimmung des Rohprotein- bzw. Rohnährstoffgehalts z. Z. noch nicht möglich ist. Der Trockenmassegehalt eines Futtermittels ist aus zwei bis drei Parametern bestimmbar, wozu entsprechende Meßeinrichtungen aufzubauen sind. Untersuchungen zur Messung der Gesamtmasse und des Gesamtvolumens mit anschließender Ermittlung des Trockenmassegehalts brachten Ergebnisse, die eine weitere Verbesserung der vorgeschlagenen Meßeinrichtungen aussichtsreich erscheinen lassen.

Literatur

- [1] Schröder, E.: Meßwerterfassung zur Produktionssteuerung in Tierproduktionsanlagen. Vortrag in der Fachsektion „Verarbeitungstechnik“, „INFERT“ 1978.
- [2] Agrotechnische Forderungen an eine Förderbandwaage für Futtermittel. Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim 1976 (unveröffentlicht).
- [3] Das DDR-Futterbewertungssystem. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1971.
- [4] Haubig, R.: Kontinuierliche Qualitäts- und Quantitätserfassung von Grobfutterstoffen an Bandanlagen bei der industriemäßigen Rinderproduktion. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Forschungsbericht 1978 (unveröffentlicht).
- [5] Schwarze, H.: Untersuchungen zur kontinuierlichen Volumendurchsatzmessung. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Diplomarbeit 1980 (unveröffentlicht).

A 3066