

Förderung auftretenden Beanspruchungsformen simuliert und der sich hierbei bildende Abrieb gemessen. Die festgelegten 500 Umdrehungen der Abriebprüftrommel entsprechen einer relativ hohen Belastung für die Förderung mit Gurtbandförderern. Unter Einbeziehung weiterer Fördermittel ist zu überprüfen, inwieweit die Größe der Prüfbelastung den praktischen Erfordernissen entspricht.

Der Testabrieb bzw. die Abriebfestigkeit liefern aufgrund der rezepturabhängigen Abriebfestigkeit kein objektives Maß für die Festigkeit der Pellets. Die radiale Druckfestigkeit ist weitestgehend unabhängig von der Rezeptur und stellt demzufolge eine geeignete Kenngröße zur Bestimmung der tatsächlich wirkenden Bindekräfte im Pellet dar. Sie kennzeichnet außerdem eine für die Tierernährung wichtige physikalisch-mechanische Eigenschaft des Futtermittels.

Da bei den üblichen Rezepturen die Abriebfestigkeit und die

Druckfestigkeit eng korrelieren, erscheint es für die praktische Festigkeitsprüfung ausreichend, wenn bezogen auf die jeweilige Rezeptur nur eine der beiden Kenngrößen bestimmt wird. Für die Praxis hat die Abriebfestigkeit vorrangige Bedeutung. Sie wird deshalb als verbindliche Prüfgröße vorgeschlagen. Ihr Mindestwert sollte durch Erfordernisse der Förderung und Lagerung festgelegt werden. Ihr Maximalwert ergibt sich aus der tierphysiologisch zulässigen Druckfestigkeit.

Die für Mischfutterpellets mit einem Durchmesser > 7,9 mm vorgegebene Maschenweite des Abriebsiebtes von 5 mm ist aufgrund der differenzierten Abriebtextur für Strohpellets ungeeignet. Es wird deshalb vorgeschlagen, mehrere Testabriebsfraktionen zu bestimmen, die auf der Grundlage der durch sie hervorgerufenen Defekte beim Lagern, Fördern und Dosieren festgelegt werden.

A 1450

Zur Dosierqualität von Strohhäcksel bei der Trockenfutterproduktion

Dipl.-Ing. G. Michaelis, KDT, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

1. Aufgabenstellung

Das Verarbeiten von Strohhäcksel und anderen Futterkomponenten zu vollwertigen Futtermischungen stellt relativ hohe Anforderungen an die Dosierqualität. In den Agrotechnischen Forderungen ist festgelegt, daß bei Strohanteilen von über 30% in der Rezeptur die relative Abweichung des tatsächlichen Strohanteils vom Sollwert maximal $\pm 5\%$ betragen darf [1]. Die Abweichung, die über längere Zeit besteht, charakterisiert die Dosiergenauigkeit und wird als Dosierfehler bezeichnet.

Beim Erzeugen eines stetigen Strohhäckselstroms, der in kontinuierlich arbeitenden Anlagen immer benötigt wird, treten kurzzeitige stochastische Durchsatzänderungen auf. Sie sind als Fehler der Dosiergleichmäßigkeit aufzufassen.

Ohne Kenntnis und entsprechende Berücksichtigung der Fehler der Dosiergleichmäßigkeit kann nur schwer eine hohe Dosiergenauigkeit erreicht werden. Das trifft sowohl auf die Volumendosierung, bei der der Massedurchsatz durch Kontrollwägungen bestimmt wird, als auch auf die Massedosierung mit Hilfe von Förderbandwaagen und die automatische Durchsatzregelung zu. Durch theoretische und experimentelle Untersuchungen sollen deshalb Gesetzmäßigkeiten über den Fehler der Dosiergleichmäßigkeit gefunden werden.

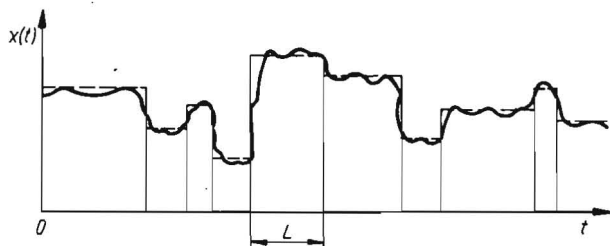


Bild 1. Stochastisches Grundmodell für den Dosierprozeß

2. Stochastisches Modell für den Dosierprozeß

Der stetige Strohhäckselstrom wird vorwiegend durch Grobfutterdosierer erzeugt, deren Arbeitsweise sich allgemein als kontinuierliche Dosiergutabnahme von einem Guthaufwerk an einer Trennfläche beschreiben läßt, wobei eine Relativbewegung zwischen der Trennfläche und dem Dosiergut in Richtung der Senkrechten zur Trennfläche auftritt.

Bei einer ebenen Trennfläche ergibt sich der Momentanwert des Massedurchsatzes als Integral des Produkts aus Schüttdichte und Relativgeschwindigkeit über diese Fläche:

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \int_{A(t)} \rho(x, y, t) v(x, y, t) dx dy; \quad (1)$$

m dosierte Gutmenge

A Trennfläche

ρ Schüttdichte in der Trennfläche

v Relativgeschwindigkeit in der Trennfläche in Richtung der Senkrechten zur Trennfläche

x, y rechtwinklige Koordinaten in der Trennfläche

t Zeit.

Die Schüttdichte $\rho(x, y, t)$ und die Relativgeschwindigkeit $v(x, y, t)$ schwanken mehr oder weniger stark stochastisch um ihre Mittelwerte, so daß der erzeugte Massestrom als zeitabhängiger stochastischer Prozeß $X(t)$ aufzufassen ist. Da bei konstanten Arbeitsparametern des Dosierers und konstanten Gutparametern auch der mittlere Massedurchsatz und seine Streuung konstant bleiben sollen, muß dieser stochastische Prozeß stationär im weiteren Sinn sein [2]. Ist dieser Prozeß auch noch normalverteilt, so kann er durch seine mathematische Erwartung und seine Autokovarianzfunktion vollständig beschrieben werden.

Der Verlauf des Massedurchsatzes über der Zeit läßt sich unter bestimmten Voraussetzungen durch einen stationären Modellprozeß annähern, der eine lückenlose Folge von Rechteckimpulsen darstellt, deren Länge L mit der Verteilungsfunktion (2) exponentialverteilt ist (Bild 1).

$$F_L(L) = 1 - \text{EXP}(-\alpha L) \quad (2)$$

α Prozeßparameter

Setzt man weiterhin Unabhängigkeit der Rechteckimpulse voraus, so ergibt sich für die Autokovarianzfunktion [3]:

$$K_x(\tau) = \sigma_x^2 \text{EXP}(-\alpha|\tau|); \quad (3)$$

K_x Autokovarianzfunktion des Prozesses X (t)
 σ_x^2 Streuung des Prozesses X (t)
 τ Zeitdifferenz.

Beim Messen des Massedurchsatzes mit Hilfe von Bandwaagen oder durch Kontrollwägungen wird nicht der Prozeß X (t), sondern ein Prozeß Y (t) erfaßt, der durch Integration entsteht:

$$Y(t) = \int_0^t X(\tau) d\tau \quad (4)$$

Hier ist T die Auffangzeit bei der Probennahme bzw. die Durchlaufzeit durch den Wägebereich der Bandwaage. Unter den oben getroffenen Voraussetzungen ergeben sich die mathematische Erwartung μ_y und die Autokovarianzfunktion K_y dieses Prozesses:

$$\mu_y = \mu_x T \quad (5)$$

$$K_y(\tau) = \frac{\sigma_x^2}{\alpha^2} [\alpha (T - \tau + |T - \tau|) + \text{EXP}(-\alpha \tau) [\text{EXP}(-\alpha T) + \text{EXP}(-\alpha (|T - \tau| - \tau)) - 2]] \quad (6)$$

Für die Bewertung der Dosiergleichmäßigkeit wird oft der Variationskoeffizient

$$V = \frac{\sqrt{K_y(0)}}{\mu_y} = \frac{\sigma_x}{\alpha T \mu_x} [2 (\alpha T + \text{EXP}(-\alpha T) - 1)]^{1/2} \quad (7)$$

herangezogen. Dieser ist bei konstantem Prozeßparameter α von der Auffangzeit T abhängig (Bild 2).

3. Versuchsmethode und -ergebnisse

Für die experimentellen Untersuchungen wird ein umgerüsteter Grobfutterdosierer mit Schichthöhengleichhalter vom Typ H 10.1 E mit Austragband H 40 verwendet. Diesem ist ein stationärer Gurtbandförderer der Baureihe 8000 mit einer Gurtgeschwindigkeit von 0,91 m/s nachgeschaltet, in den eine elektromechanische Förderbandwaage mit einer wirksamen Länge des Wägebereichs von 4000 mm eingebaut ist [4]. Die Bandwaage gibt ein analoges Signal für den Momentanwert der Wägebürdenbelegung ab, das über ein Meßwertlochsystem digital gespeichert und mit Hilfe von EDVA ausgewertet wird. Die Versuche werden mit Stroh (mittlere Häcksellänge 50 mm) durchgeführt.

Gehäckseltes Stroh wird von den Frästrommeln des Grobfutterdosierers gleichmäßig von der Schüttung abgenommen und auf das Austragband übergeben. Dadurch ist der Variationskoeffizient gering und nahezu unabhängig vom Durchsatz (Tafel 1). Der Dosierprozeß ist stationär und normalverteilt. Der Verlauf der Autokovarianzfunktion des durch die Bandwaage aufgenommenen integrierten Prozesses läßt sich durch eine Funktion nach Gl. (6) annähern (Bild 3).

Hierbei muß berücksichtigt werden, daß eine genaue Annäherung an zufällige Verläufe der empirischen Autokovarianzfunktion nicht erforderlich und sogar unzweckmäßig ist [5]. So kann der Dosierprozeß mit Hilfe des Modellprozesses beschrieben werden. Aus der Annäherung der normierten Autokovarianzfunktionen ergeben sich die Prozeßparameter

Tafel 1. Versuchsergebnisse zur Strohdosierung

Versuch Nr.		1	2	3	4	5
Versuchszeit	min	15,1	20,0	20,0	20,0	20,2
Vorschub	m/min	0,26	0,35	0,44	0,55	0,64
Volumendurchsatz	m ³ /h	37,4	50,4	63,4	79,2	92,2
Massedurchsatz	t/h	0,98	1,32	1,81	2,16	2,6
Variationskoeffizient V bei Auffangzeit T = 4,4 s	%	14,3	9,5	9,5	9,2	10,7

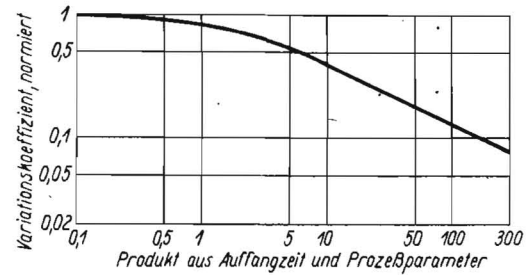


Bild 2. Variationskoeffizient V in Abhängigkeit von der Auffangzeit T (normierte Darstellung)

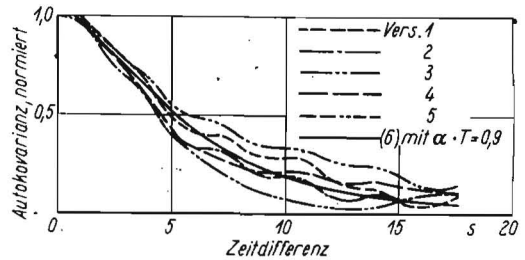


Bild 3. Normierte Autokovarianzfunktion der dosierten Strohhäckselströme und des Modellprozesses

Tafel 2. Gegenüberstellung der Variationskoeffizienten V in %

Versuch Nr.	Auffangzeit T in s		
	4,4	22,0	61,5
1	14,3	9,6	6,7
2	9,5	6,2	3,5
3	9,5	7,0	3,9
4	9,2	6,1	3,9
5	10,7	6,8	3,8
Modellprozeß	10,0	6,7	4,3

$$\alpha \approx 0,2 \text{ s}^{-1} \quad (8)$$

$$\sigma_x^2 \approx 0,013 \mu_x^2 \quad (9)$$

Die Güte der Annäherung ist aus der Gegenüberstellung der Variationskoeffizienten für unterschiedliche Auffangzeiten T ersichtlich (Tafel 2). Sie werden einmal aus den Versuchsergebnissen durch Vervielfachen der wirksamen Länge des Wägebereichs bestimmt und zum anderen aus Gl. (7) mit den Parametern nach Gl. (8) und Gl. (9) errechnet.

4. Schlußfolgerungen

Mit den Methoden der Theorie der stochastischen Prozesse ist eine befriedigende Beschreibung des Fehlers der Dosiergleichmäßigkeit möglich. Um den mittleren Massedurchsatz von Strohhäcksel durch Probewägungen mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ einstellen zu können, muß der Variationskoeffizient des Wägeergebnisses unter $1,5\%$ liegen. Da die Auffangzeit T beim Betreiben wegen des großen Probenvolumens kaum über 60 s ausgedehnt werden kann, sind rd. 16 unabhängige Proben erforderlich. Nur wenn der Mittelwert aus diesen Proben mehr als $\pm 5\%$ vom Sollwert abweicht, ist eine Änderung der Dosiermengeneinstellung vorzunehmen.

Mit Hilfe von Gl. (3) und den entsprechenden α und σ_x^2 aus den Gln. (8) und (9) können die stochastischen Störungen bei der Berechnung von Regelkreisen zur automatischen Durchsatzregelung von Strohhäcksel berücksichtigt werden. Die aufgestellten Beziehungen bieten ebenfalls die Möglichkeit, die Arbeitsqualität nachfolgender Mischeinrichtungen mit der Dosierqualität mathematisch zu verknüpfen.

Fortsetzung auf Seite 519

γ -Volumendosierer mit Dichtemeß- und -steuereinrichtung

Dr. rer. nat. M. Beer, KDT/Chem.-Ing. H. Fuchs/Dipl.-Ing. R. Becker
Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR
Dipl.-Ing. E. Günther, KDT, Institut für Getreidewirtschaft Berlin, Bereich Magdeburg-Frohse

Bei der Produktion von Futtermischungen zwingen vor allem ökonomische und besonders materialökonomische Aspekte zur möglichst genauen Dosierung der nur begrenzt zur Verfügung stehenden wichtigen Futtermittelkomponenten wie Fischmehl, Sojaschrot, Futterphosphat und Zuckerrübenschnitzel.

Die in den letzten Jahren international gebräuchliche automatisierte diskontinuierliche Chargen-Produktion (Bild 1a) von Mischfutter weist unter Praxisbedingungen nicht die erhoffte Genauigkeit auf. Der gleichzeitig durch den hohen Anteil an Automatisierungseinrichtungen bedingte starke Anstieg der Investitionen und der Instandhaltungskosten [1] zwingt zur Suche nach neuen Lösungen bzw. zur Weiterentwicklung von bisher bewährten Wirkprinzipien der Dosierung.

Aus der Sicht und Erfahrung der mechanischen und chemischen Verfahrenstechnik [2] [3] sind bei Durchsätzen, wie sie bei der industriellen Mischfutterproduktion auftreten, kontinuierliche Verfahren zu bevorzugen. Die Umstellung einiger 100-kt-Mischfutterwerke der 64er Baureihe von der Chargen-Dosierung und -Mischung zur Verbindung der periodischen Wägedosierung mit kontinuierlich betriebenen Mischern (Bild 1b) [4] sowie die Errichtung des ersten Werks mit Dosierbandwaagen für die Produktion von Teilfertigfuttermitteln und Fertigfuttermitteln sind Beweise dafür. Beide Varianten besitzen aber den Nachteil der gleichen aufwendigen Dosierertechnik wie die automatisierten Chargenverfahren. Andererseits zeigen mehrjährige Vergleiche, daß in Mischfutterwerken, die mit einfacher Dosier- und Mischtechnik, d. h. mit Volumendosierern (Zellenraddosierern) und dem effektiven, kontinuierlich arbeitenden Mischer KM 1000 (Bild 1c) arbeiten, keine signifikant schlechtere Qualität der Endprodukte auftritt, die auf die einfachere Ausrüstung zurückzuführen wäre. Daher erscheint es möglich zu sein, durch gezielte Weiterentwicklung des Zellenraddosierers zu weniger aufwendigen und dennoch genügend genauen Dosierorganen für schüttfähige Futtermittelkomponenten zu kommen.

Der Ausgangspunkt für eine erfolgversprechende Weiterentwicklung des Volumendosierers ist die Verringerung der Folgen seiner prinzipbedingten Fehlerquelle bei der Massedosierung, daß eine Änderung der Schüttdichte der Komponente einen nicht konstanten Massedurchsatz verursacht. Es wurde allgemein angenommen (Meßergebnisse liegen nicht vor), daß diese Durchsatzänderungen bis zu 30% betragen können.

In der Praxis wird versucht, die o. g. Fehlerquelle durch mehr oder minder zahlreiche Dosierkontrollen in konstanten Zeitabständen und entsprechende Korrektur des Zellenradvorschubs auszuscheiden.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, die Änderungen des Masseflusses in Volumendosierern zu messen. Das Einbringen

von Flügelrädern in den ausfließenden Gutstrom ergab z. B. keine brauchbare Meßgröße. In der Literatur [1] wird von einer Variante berichtet, bei der die Auslenkung einer um 45° geneigten, drehbaren Fläche durch den Schüttgutstrom über ein Potentiometer als Regelgröße in allen Durchsatzbereichen genutzt werden soll. Realisierungsbeispiele aus der Futtermittelindustrie wurden bisher nicht beschrieben.

Der in den vorliegenden Untersuchungen gewählte Lösungsweg beruht darauf, daß nicht die Veränderung des Massestroms nach dem Dosierer, sondern die Schüttdichte bzw. die Schüttdichteänderung unmittelbar vor dem Eintritt in das Zellenrad gemessen wird. Wenn dabei die Bedingung erfüllt wird, daß sich beim Füllen der Kammern die gleiche Schüttdichte einstellt, wie im unmittelbar vor den Zellenrädern liegenden Raum, dann muß bei konstanter Drehzahl das gewonnene Meßsignal dem Massestrom nach dem Dosierer proportional sein.

Es lag nahe, für die Dichtemessung radiometrische Meßeinrichtungen zu benutzen. Obwohl γ -Absorptions- und γ -Streusonden gleichermaßen gut anwendbar sind, wurden die γ -Streusonden [5] gewählt, weil im interessierenden Schüttdichtebereich der Futtermittel praktisch ein linearer Zusammenhang zwischen Schüttdichte und Sondersignal (Impulse je Zeiteinheit) besteht. Dadurch sind einfache Steuer- und Signalisierungsmöglichkeiten zu erwarten. Der unkomplizierte Aufbau der Stabsonde (Länge 200 mm, Durchmesser 20 mm, HF-Kabelanschluß) gestattet den Einbau praktisch an jeder beliebigen Stelle im Dosierer. Der Strahlenschutz ist mit einfachen Mitteln zu gewährleisten.

Versuche mit einem ersten Labormuster ergaben, daß die o. g. Bedingungen hinsichtlich Schüttdichtegleichheit dann erfüllt ist und ein guter linearer Zusammenhang zwischen Meßsignal der Sonde und dem Massedurchsatz in weiten Schüttdichtebereichen besteht, wenn im Gegensatz zur bisherigen Verfahrensweise im Zulaufbereich vor dem Dosierer und im Dosierer selbst Entlastungszonen vorhanden sind (Bild 2). Sie bewirken eine Auflockerung der Schüttgutsäule bereits vor dem Einlauf in die Zellen des Volumendosierers.

Aus dem inneren Gehäuse und dem Zellenrad der Volumendosierer des Typs „Fanal“ und aus dem VEB Kombinat Fortschritt — Landmaschinen wurden 3 Versuchsmuster angefertigt. Die vorhandenen Antriebe wurden entfernt und durch einen thyristor-gesteuerten Gleichstromnebenschlußmotor¹⁾ mit stufenlos verstellbarer Drehzahl im Bereich 1 bis 20 U/min ersetzt, der auch durch eine potentialfreie Fremdspannung von 0 bis 10 V angesteuert werden kann. Ein Wendepotentiometer mit einem Fehler von 0,01% und guter Linearität gewährleistet eine wesentlich einfachere leicht reproduzierbare Einstellung der Drehzahl, als das bei den bisherigen Volumendosierern möglich war. Im Zellenraum vor den Zellen (Bilder 2b und 2c) wurde eine γ -Streusonde DS-114 S angebracht und die abgeleiteten Impulse in handelsüblichen Labor-Kernstrahlungsmeßgeräten oder in den ersten beschriebenen Versuchsmustern der Geräte gemessen oder verwertet.

Umfangreiche Messungen im Labor und unter Produktionsbedingungen der Mischfutterindustrie ergaben bei der Dosierung von Roggen- und Weizenkleien, von Grünmehl, Futterhefe (Malchin), Schrotgemisch, unzerkleinertem Getreide, Zuckerrübenschnitzelgranulat, Harnstoff, Sojaschrot und Vormischungen für Mischfutter- und Strohpelletproduktion folgende wesentliche Ergebnisse, die eine erfolgreiche Weiterentwicklung des Volumendosierers versprechen:

- Linear mit der Drehzahl ansteigender Massedurchsatz im Bereich 1 bis 20 U/min bei der Dosierung homogener Komponenten (d. h. max. 6 t/h für Schrote, 3,5 t/h für Kleien)
- praktisch linearer Zusammenhang zwischen Massedurchsatz und dem Produkt aus Meßsignal und Drehzahl

Fortsetzung von Seite 518

Literatur

- [1] Autorenkollektiv: Agrotechnische Forderungen an Anlagen zur Produktion von kompaktiertem Trockenmischfutter mit Anteilen von Stroh oder/und Getreideganzpflanzen für Wiederkäuer. Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim 1974 (unveröffentlicht).
- [2] Bendat, I.; Piersol, A.: Measurement and Analysis of Random Data (Messung und Analyse von Zufallsdaten). New York: Wiley 1966.
- [3] Wentzel, E.; Owtscharow, L.: Aufgabensammlung zur Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin: Akademie Verlag 1973.
- [4] Zschaage, F.; Gläser, M.: Untersuchungen an der elektromechanischen Förderbandwaage EBW 67 für Durchsätze bis $10 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. agrartechnik 24 (1974) H. 5, S. 245—247.
- [5] Sweschnikow, A. A.: Untersuchungsmethoden der Theorie der Zufallsfunktionen mit praktischen Anwendungen. Leipzig: Teubner 1965.

A 1393