

Mehrzahl der ermittelten t -Werte einen größeren gesicherten Einfluß auf die Zielgröße Verdunstungsleistung als die miteinander korrelierenden Einflußgrößen Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit (Bild 1).

Alle errechneten t -Werte der Einflußgröße Niederschlag sind in die Regressionsgleichung des 1. Ansatzes eingegangen. Mehr als die Hälfte der jeweils errechneten t -Werte der Einflußgröße Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit sind im 1. Ansatz der Regressionsrechnung als nicht signifikant ausgeschlossen (Bild 2).

In den weiteren Ansätzen der Regressionsrechnung ist der Wiederbefeuchtungsvorgang von dem eigentlichen Prozeß der Trocknung getrennt worden. Dadurch läßt sich die Wechselbeziehung zwischen der Trocknung und den anderen gemessenen Einflußgrößen besser klären. Die während der Untersuchungen ermittelten Massezunahmen durch Regen oder Tau werden in einem weiteren Ansatz gesondert verrechnet.

Durch das Weglassen der Einflußgröße Niederschlag erreichen schon im 2. Ansatz der Regressionsrechnung bei einer Kombination von drei Versuchen der Futterart Luzerne und einer Schwadmasse von 9 kg/m^2 Grünmasse alle übrigen Einflußgrößen einen höheren t -Wert (Bild 3).

Weitere Berechnungen, die den sich laufend verändernden Feuchtigkeitsgehalt der Futterpflanzen in der untersuchten Schwadmasse berücksichtigen, und das Potenzieren der ermittelten feuchtigkeitsbezogenen Verdunstungsleistung mit 0,8, führen im 3. bzw. 4. Ansatz der Regressionsrechnung zu einer weiteren Verbesserung der t -Werte (Bild 3).

Die einzelnen Materialvarianten sind im 4. Ansatz der Regressionsrechnung mit verschiedenen Koeffizienten c_i (0,2 bis 0,8) potenziert worden. Gegenüber dem 3. Ansatz erreichte bei fast allen Materialvarianten die Verrechnung mit dem Koeffizienten 0,8 höhere korrigierte Bestimmtheitsmaße.

Eine Zusammenfassung der Einflußgrößen Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit zum Sättigungsdefizit bringt im 5. Ansatz der Regressionsrechnung gegenüber den anderen Einflußgrößen den höchsten gesicherten Einfluß auf die Zielgröße Verdunstungsleistung (Bild 3).

Somit üben bei dieser Materialvariante nach den Ergebnissen des 5. Ansatzes der Regressionsrechnung, ohne Berücksichtigung der Wiederbefeuchtung durch Niederschlag, das Sättigungsdefizit, die Windgeschwindigkeit und die Sonnenscheindauer einen hoch gesicherten Einfluß auf die Verdunstungsleistung aus. Die Straffheit des Zusammenhangs zwischen den Einflußgrößen und der Zielgröße ist bei dieser Materialvariante durch ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß von $B = 0,91$ gekennzeichnet.

4. Schlußfolgerungen

Aus dem vorliegenden statistischen Material lassen sich nach ersten vorliegenden Ergebnissen mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse Regressionsgleichungen bestimmen, mit

denen die stochastischen Zusammenhänge zwischen Verdunstungsleistung und Witterung erfaßt werden können. So konnte festgestellt werden, daß nach der Trennung des Wiederbefeuchtungsvorgangs durch Niederschlag vom eigentlichen Trocknungsprozeß, die aus Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit neu berechnete Einflußgröße Sättigungsdefizit, die Sonnenscheindauer als auch die Windgeschwindigkeit einen gesicherten Einfluß auf die Verdunstungsleistung haben.

Mit den im 5. Ansatz der Regressionsrechnung ermittelten gesicherten Einflußgrößen bei der Materialvariante Luzerne mit 9 kg/m^2 Schwadmasse wird der Zusammenhang zwischen der Verdunstungsleistung und der Witterung beim Trocknen gut wiedergegeben.

Durch weitere Berechnungen muß überprüft werden, welchen Einfluß diese ermittelten Größen bei anderen Materialvarianten auf die Verdunstungsleistung als Zielgröße haben. Lassen die Ergebnisse dieser Berechnungen eine Übereinstimmung erkennen, kann dieser Ansatz für alle Materialvarianten gelten.

Im 5. Ansatz der Regressionsrechnung wird durch das Zusammenfassen von Lufttemperatur und Luftfeuchte zu einer Einflußgröße die Anzahl der zu berechnenden Einflußgrößen in der Regressionsgleichung verringert. Erreicht das Produkt aus Sättigungsdefizit und Windgeschwindigkeit ähnlich gesicherte Werte wie die vorhergenannten Einflußgrößen im 5. Ansatz, ist eine weitere Vereinfachung im nächsten Ansatz möglich. Erste, in dieser Richtung durchgeführte Berechnungen brachten günstige Ergebnisse.

Zusammenfassung

Mit einer Schwadwaage konnten die Verdunstungsmengen einiger Futterpflanzenarten in der Zeit von Mai bis Oktober unter Protokollierung der wichtigsten Witterungsdaten gemessen werden.

Die Methodik der Untersuchungen mit der bereits früher beschriebenen Meßeinrichtung wird erläutert.

Durch Anwendung der multiplen Regressionsanalyse konnte bei der Materialvariante Luzerne mit 9 kg Schwadmasse nachgewiesen werden, daß die aus der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit neu berechnete Einflußgröße Sättigungsdefizit neben der Sonnenscheindauer und der Windgeschwindigkeit einen gesicherten Einfluß auf die Zielgröße Verdunstungsleistung haben. In einem gesonderten Rechenang werden die Schwellenwerte der trockenheitsbegrenzenden Einflußgröße Niederschlag ermittelt.

Literatur

- [1] KNUPFEL, H., A. STUMPF, B. WIEZORKE: Mathematische Statistik in Eisenhüttenwerken. Teil I Regressionsanalyse. Archiv für das Eisenhüttenwesen 29 (1958) H. 8, S. 521 bis 533.
- [2] NEUSCHULZ, A.: Einfluß der Witterungsfaktoren auf das Welken der Futterpflanzen. Deutsche Agrartechnik (1969) H. 10, S. 494 bis 496 A 8113

Der Strömungswiderstand bei der Belüftungstrocknung von Welkgutballen

1. Aufgabe

Für die Trockengutproduktion im einheitlichen System der Futterkonservierung „Silierung — Trocknung“ sind solche Verfahren der Belüftungstrocknung zu entwickeln und in die Praxis einzuführen, die eine wirksame Verminderung der Gesamtverluste an Nährstoffen, einen hohen Mechanisierungsgrad, hohe Verfahrensleistungen und eine bessere Auslastung des Transport- und Lagerraums ermöglichen. Die Lösung dieser Aufgabe wird in der Gewinnung von hochwertigem Trockengut in Form von Häcksel, Preßballen und Wickelbriketts durch Belüftungstrocknung gesehen. Die belüftungstechnischen Fragen der Konservierung sind bisher

für keine der drei genannten Gutformen ausreichend geklärt und daher Gegenstand umfangreicher Untersuchungen. Die vorliegende Arbeit untersuchte die Belüftbarkeit von Welkgutballen. Exakte Kenntnisse über den Strömungswiderstand in Ballenschüttungen sind notwendige Voraussetzungen für die optimale Auslegung und Nutzung von Anlagen für die Belüftungstrocknung. Das Ziel der Untersuchungen bestand u. a. darin, wesentliche Zusammenhänge zwischen Luftgeschwindigkeit, Einflußgrößen der Ballen und Ballenschüttung auf den Druckabfall zu ermitteln und damit Grundlagen für den optimalen Lüftereinsatz zu schaffen.

Dipl.-Ing. Dr. E. TUREK, KDT

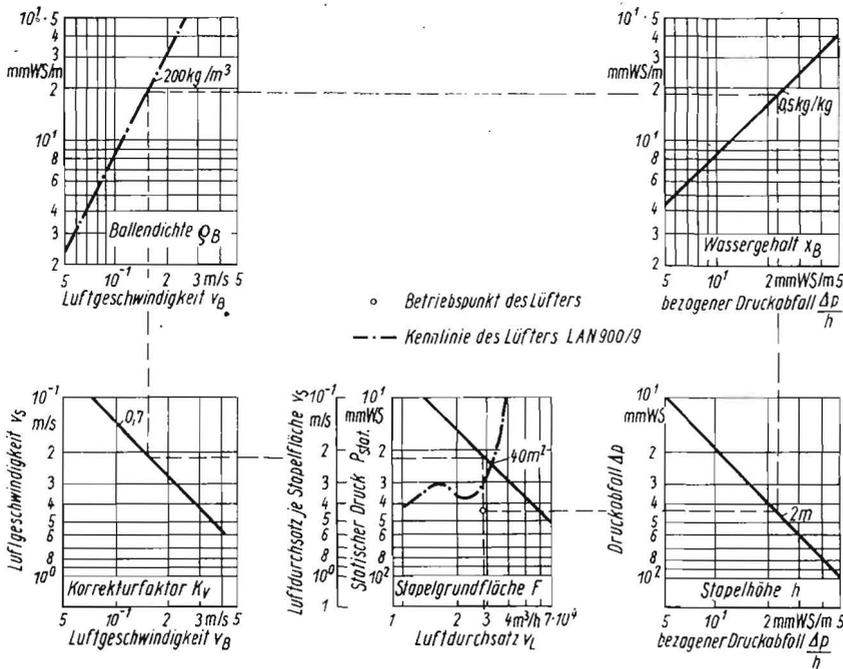


Bild 3. Belüftungsnomogramm für Wiesengrasballen (Darstellung eines Anwendungsbeispiels, Erläuterungen im Text)

Tafel 3. Ermittelte Zahlenwerte für den Stoffbeiwert C_f und die Exponenten k , n und m (Gl. 4)

Futterart	Stoffbeiwert C_f	Exponent d. Gutfeuchte k	Exponent d. Luftgeschw. n	Exponent der Ballendichte m für $v = 0,1 \text{ m/s}$
Wiesengras	$18,5 \pm 4,8$	-0,18	1,38	0,46
Luzerne	$30,1 \pm 12,1$	-	1,50	0,34

Es bedeuten:

- Δp Druckabfall im Ballen mit der Länge l , in mm WS
- C_f Stoffbeiwert, u. a. von Futterart, Strömungsrichtung und Ballenstruktur abhängig
- x_B Gutfeuchte im Ballen, in kg/kg
- ρ_B Ballendichte in kg/m^3
- $\rho_{B0} = 1 \text{ kg/m}^3$ Konstante
- v_B Luftgeschwindigkeit, auf den freigedachten Ballenquerschnitt bezogen, in m/s
- $v_{B0} = 1 \text{ m/s}$ Konstante
- m Exponent der Ballendichte
- n Exponent der Luftgeschwindigkeit

Für Luzerneballen konnte keine Abhängigkeit des Strömungswiderstands von der Gutfeuchtigkeit im Bereich von 15 bis 55% nachgewiesen werden.

Diese Erscheinung wird darauf zurückgeführt, daß sich die grobstengelige, sperrige Struktur der Luzerneballen im Vergleich zu Wiesengrasballen während der Wasserabgabe nur unwesentlich verändert. Die Standardabweichungen der Stoffbeiwerte liegen mit über 20% für Wiesengrasballen und über 30% für Luzerneballen recht hoch. Dies ist in erster Linie damit zu erklären, daß Ballen gleicher Futterart, gleicher Dichte und Feuchtigkeit unterschiedliche Strukturen in strömungstechnischer Hinsicht aufweisen. Von Bedeutung sind u. a. solche Einflußgrößen wie Rohfasergehalt, botanische Zusammensetzung und Anteil des Porenvolumens. Zur exakten mathematisch-physikalischen Beschreibung der Halmgutstruktur sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Aus den gefundenen Zusammenhängen geht u. a. hervor: — Luzerneballen verursachen beim Belüften einen um 30 bis 50% geringeren Druckabfall als vergleichbare Wiesengrasballen.

Der Druckabfall in Luzerneballen ist vom Prozeß der Wasserabgabe in dem für die Belüftungstrocknung in Frage kommenden Feuchtigkeitsbereich zwischen 15 und 55% unabhängig.

- Der Druckabfall ist bei Durchströmung von Wiesengras und Luzerneballen in Preßrichtung um etwa 30% höher als in dazu senkrechter Richtung. Eine Verkürzung der Ballen der gegenwärtig in der Landwirtschaft eingesetzten HD-Sammelpresse K 442 auf Ballenlänge $\approx 3/4$ Ballenbreite kann belüftungstechnische Vorteile ergeben.

Aus den Widerstandsgleichungen für Einzelballen ließen sich solche für Ballenschüttungen ableiten. Hierfür wurde angenommen, daß in Schüttungen würfelförmiger Ballen doppelt soviel Einzelballen quer zur Preßrichtung durchströmt werden als in Preßrichtung, analog dem Verhältnis der richtungsbezogenen Flächen der Ballen. Theoretische Betrachtungen über die Anordnung der Ballen innerhalb der Schüttung führten dazu, zwei Grenzfälle zu untersuchen:

- a) die Ballen sind hintereinander in „Reihe“ angeordnet und
- b) die Ballen sind nebeneinander in „Parallelschaltung“ angeordnet.

Hierbei wurde vorausgesetzt, daß die tatsächliche Anordnung der Hochdruckballen innerhalb der Schüttung zwischen den betrachteten Grenzfällen liegt. Davon ausgehend konnten die Widerstandsgleichungen für beide Grenzfälle aufgestellt werden. Für praktische Ballenschüttungen wurde vereinfachend das arithmetische Mittel aus den Stoffbeiwerten und den Exponenten dieser Grenzfälle gebildet.

Die Tatsache, daß in Ballenschüttungen ein bedeutender Teil der Trocknungsluft nicht durch die Ballen, sondern durch die Hohlräume zwischen den Ballen strömt, machte es erforderlich, ergänzend einen Korrekturfaktor der Luftgeschwindigkeit K_v einzuführen. Der Korrekturfaktor K_v wird als das Verhältnis der mittleren Luftgeschwindigkeit im Einzelballen v_B zur mittleren Luftgeschwindigkeit innerhalb der Ballenschüttung v_S definiert:

$$K_v = \frac{v_B}{v_S} \quad (3)$$

Der Korrekturfaktor K_v wurde in 8 Ballenschüttungen in Versuchstürmen (Abmessungen: $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 6,30 \text{ m}$) und an 5 Anlagen der Praxis (Grundfläche $F = 80$ bis

190 m² und Höhe $h = 4$ bis 5 m) bestimmt. In Abhängigkeit von Ballendichte, Futterart, Einlagerungsart und Anlagengröße strömen in den untersuchten Anlagen etwa 20 bis 80 % der Trocknungsluft durch das Hohlraumsystem ungesättigt an den Ballen vorbei. Für eine weitere Erhöhung der Treffsicherheit der K_v -Werte sind ergänzende Messungen an Großanlagen erforderlich. Die Widerstandsgleichung für Ballenschüttungen erhält somit nachfolgende Form:

$$\Delta p = C_f \cdot h \cdot \rho_B^k \cdot \left(\frac{\rho_B}{\rho_{B0}} \right)^m (v_S) \cdot \left(K_v \cdot \frac{v_S}{v_{S0}} \right)^n \quad (4)$$

Hierin bedeutet $v_{S0} = 1$ m/s. Der Exponent der Ballendichte ist geschwindigkeitsabhängig. Die ermittelten Werte für den Stoffbeiwert C_f und die Exponenten k , n und m weisen signifikante Unterschiede für Luzerne und Wiesen-gras auf (Tafel 3).

Die gefundenen Zusammenhänge wurden in Belüftungs-nomogrammen für Wiesengras- und Luzerneballen dargestellt.

Die Anwendungsmöglichkeit zeigt Bild 3 an einem Beispiel. Es ist der Druckabfall bei vorgegebenem Luftdurchsatz in einer Ballenschüttung vorauszubestimmen. Man beginnt hierbei im mittleren unteren Teildiagramm mit dem gegebenen Luftdurchsatz v_L (z. B. $28 \cdot 10^3$ m³/h) und ermittelt über die Stapelgrundfläche F (z. B. 40 m²) und über den Korrekturfaktor K_v (z. B. 0,7) die effektive Luftgeschwindigkeit v_B , mit der die Ballen durchströmt werden (im Beispiel 0,15 m/s). Über die Ballendichte ρ_B (z. B. 200 kg/m³) und den Wassergehalt des Gutes x_B (z. B. 0,5 kg/kg) erhält man den auf 1 m Stapelhöhe bezogenen Druckabfall $\Delta p/h$ (im Beispiel 22 mm WS). Die

Stapelhöhe h (z. B. 2 m) führt zu dem gesuchten Druckabfall Δp innerhalb der gegebenen Ballenschüttung (im Beispiel 44 mm WS). Somit ist gleichzeitig der Betriebspunkt des Lüfters mit $v_L = 28 \cdot 10^3$ m³/h und $\Delta p_{stat} = 44$ mm WS bestimmt. Er liegt außerhalb des Kennlinienbereiches des Lüfters LAN 900/9.

Aus den dargestellten Ergebnissen leiten sich für die Belüftungstrocknung von Hochdruckballen höhere Anforderungen an die Lüfterleistung ab. Der stündliche Luftdurchsatz sollte dabei etwa $60 \cdot 10^3$ bis $80 \cdot 10^3$ m³ bei einem statischen Druck von etwa 60 mm WS betragen. Die z. Z. der Landwirtschaft der DDR zur Verfügung stehenden Lüfter SK 8/900 und LAN 900 mit einem stündlichen Luftdurchsatz von $20 \cdot 10^3$ bis $30 \cdot 10^3$ m³ bei etwa 20 mm WS entsprechen nicht diesen Anforderungen.

Zusammenfassung

Druckabfallmessungen beim Belüften von Einzelballen führten zur Aufstellung von Widerstandsgleichungen und Belüftungs-nomogrammen für Luzerne- und Grasballenschüttungen. Diese ermöglichen es, u. a. den Strömungswiderstand in Ballenbelüftungsanlagen rechnerisch vorauszubestimmen. Damit wurden Grundlagen für die Projektierung und für die zweckmäßige Nutzung dieser Anlagen geschaffen.

Literatur

TUREK, E.: Der Strömungswiderstand und der Trocknungsverlauf bei der Belüftungstrocknung von Welkgutballen. Dissertation an der DAL, Kommission Ökonomie und Mechanisierung, 1970. A 8066

Untersuchungen zur Verweilzeit des Gutes in landwirtschaftlichen Trommeltrocknern

Dipl.-Ing. J. DRÄGER

1. Problem

Für die weitere Erforschung der Vorgänge in landwirtschaftlichen Trommeltrocknern ist die Kenntnis der Verweilzeit des Gutes in der Trocknungstrommel und dessen Spektrum von Bedeutung. Aus der Form der Verweilzeit-spektren lassen sich allgemeine Charakterisierungsmerkmale für Trommeltrockner ableiten. Zur Gewährleistung gleichmäßiger Trocknungsbedingungen werden für die einzelnen Fraktionen der Trocknungsgüter jeweils schmale Verweilzeitspektren gefordert.

Im Zuge der funktionellen Weiterentwicklung der landwirtschaftlichen Trocknungstechnik haben sich international 3 Trommeltrocknersysteme durchgesetzt, die sich hinsichtlich der Trommelbauart voneinander unterscheiden (Bild 1):

- Trommel mit Kreuzeinbauten
- Trommel mit Hubschaufeln und Staublenden
- Dreizugtrommel

Die Trommleinbauten haben die Aufgabe, den Wärmeübergang vom Trocknungsgas zum Gut zu verbessern. Sie zerlegen das Gut in mehrere kleine Teilhaufen, verteilen es gleichmäßig über den Trommelquerschnitt, geben ihm somit eine große Oberfläche und lassen es periodisch quer durch den Gasstrom hindurchrieseln. Der Weg, den die einzelnen Gutteilchen unter der Einwirkung des Gasstromes zurücklegen, hängt vorwiegend von der Beschaffenheit dieser Teilchen ab. So werden kleine, leichte Teile während eines Abrieselvorgangs weiter geschleppt als große, schwere. Während des Falles sind die Gutteilchen häufig wechselnden Kräften ausgesetzt, so daß sie ständig Quer- und Drehbewegungen ausführen. Auf Grund dieses Sachverhaltes läßt sich nicht eine bestimmte, sondern nur eine mittlere Verweilzeit des Gutes in der Trommel angeben

(„Verweilzeitwahrscheinlichkeit“). Da die Gasmenge beim Strömen durch Trocknungstrommeln um die aufgenommene Wasserdampfmenge größer wird und das Gut während des Trocknens Masse und Struktur ändert, entstehen weitere Abhängigkeiten. Eine exakte Berechnung der Schleppwirkung des Gasstroms bereitet daher große Schwierigkeiten. Zur Ermittlung der Verweilzeitspektren des Gutes in Trocknungstrommeln wurden Messungen an Trommeltrocknern mit Hilfe radioaktiver Nuklide durchgeführt [1].

Für die zum Einsatz kommenden Trocknungsgüter wurde hierzu ein geeignetes Markierungsverfahren entwickelt. Methodik und Ergebnisse der Verweilzeitmessungen sind bereits in [1] erläutert.

In vorliegendem Beitrag werden die trockenstechnischen Erkenntnisse der Verweilzeitmessungen diskutiert.

2. Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Trocknertypen lassen deutliche Unterschiede in den Verweilzeitspektren des Gutes in der Trommel erkennen (Bild 2). Zur Messung der Verweilzeitspektren wurde das mit dem radioaktiven Gold-Nuklid Au-198 markierte Gut am Eingang stoßförmig zugegeben. Da die einzelnen Gutteile unterschiedliche Aufenthaltswahrscheinlichkeiten besitzen, ergibt sich das Verweilzeitspektrum als Wahrscheinlichkeitsdichte der Aufenthaltszeiten. Die gemessene relative Impulsrate (Bild 2) entspricht der in der jeweiligen am Trommelausgang gezogenen Probe enthaltenen Anzahl markierter Teile. Die mittlere Verweilzeit \bar{t} des Gutes in der Trommel wurde aus den gemessenen Verweilzeitspektren errechnet. Sie entspricht dem Schwerpunktabstand