

Füllungsgrad und Durchsatz von Trocknungstrommeln bei unterschiedlichen Betriebsparametern

Dipl.-Ing. J. Dräger, KDT, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

1. Zielstellung

Der Füllungsgrad von Trocknungstrommeln stellt eine wichtige Kenngröße für die Bemessung und zur Beurteilung des Betriebsverhaltens dieser Trockner dar. Er steht mit dem Durchsatz in einem direkten Zusammenhang. Zur Erzielung hoher spezifischer Leistungswerte, wie spezifische Wasserverdampfung je m^3 Trommelvolumen, spezifischer Trockengutausstoß, werden für den Trommelfüllungsgrad Maximalwerte angestrebt.

Der maximal zulässige mittlere Füllungsgrad liegt unmittelbar unterhalb der Verstopfungsgrenze der Trommel und der Grenze der thermischen Schädigungen des Gutes. Das Überschreiten dieser Grenze ist am Verkohlen einzelner Gutbestandteile erkennbar. Der maximal zulässige Trommelfüllungsgrad besitzt für jede Gutart einen anderen Wert; er ist eine gutartabhängige Konstante. Für ein bestimmtes Gut liegt er in Abhängigkeit von den eingestellten Betriebsparametern bei unterschiedlichen Durchsatzwerten. Die

Verwendete Formelzeichen

w_G	m/h	Gutgeschwindigkeit in der Trommel
w_L	m/s	Luftgeschwindigkeit in der Trommel
w_{GS}	m/s	Sinkgeschwindigkeit des Gutes
g	m/s^2	Fallbeschleunigung
z	s	Fallzeit des Gutes beim Abrieseln von den Einbauten
n	U/min	Trommeldrehzahl
x	1/U	Anzahl der Gutabrieselungen von den Einbauten je 1 Trommelumdrehung
h	m	Fallhöhe beim Abrieseln
τ	m^3/m^3	mittlerer Trommelfüllungsgrad
ρ_G	kg/m^3	mittlere Schüttdichte des Gutes
\dot{m}_G	$kg/h \cdot m^3$	mittlerer spezifischer Gutdurchsatz, bezogen auf $1 m^3$ Trommelvolumen
\dot{m}_{Ga}	$kg/h \cdot m^3$	spezifischer Trockengutdurchsatz
u_G	kg/kg	mittlerer Wassergehalt des Gutes in der Trommel, bezogen auf Trockensubstanz
u_{Ga}	kg/kg	Wassergehalt des Trockengutes

(Fortsetzung von Seite 174)

— Die Zunahme des spezifischen Wärmebedarfs je 1 kg Trockengut ist im oberen Feuchtigkeitsbereich besonders hoch. Es muß daher gefordert werden, Frischgut mit Wassergehalten über 82 Prozent nur in Ausnahmefällen der Heißlufttrocknung zuzuführen. Solches Gut erhöht die Kosten des Konservierungsverfahrens Heißlufttrocknung besonders stark.

4. Zusammenfassung

Anhand der dargelegten Ergebnisse über das Leistungsvermögen der Trocknungstrommeln konnte deutlich gemacht werden, daß in den bestehenden Trocknungsanlagen beträchtliche Leistungsreserven vorhanden sind, die durch optimale Betriebsführung und verbesserte Anpassung der dem Trocknungsaggregat vor- und nachgeschalteten Einrichtungen an das Leistungsvermögen der Trommel erschließbar werden. Es wurden Möglichkeiten für eine verbesserte Gestaltung der Trocknereinbauten analysiert. Die Nutzung der gegebenen Empfehlungen trägt zur Produktionssteigerung dieser Trockner bei.

Literatur

/1/ Dräger, J.: Wissenschaftlich-technische Grundlagen der Heißlufttrocknung. Forschungsabschlußbericht des IfM Potsdam-Bornim 1973 (unveröff.). A 9843

Klärung der bestehenden Zusammenhänge war Gegenstand von wissenschaftlich-technischen Untersuchungen im IfM Potsdam-Bornim. Die Ergebnisse sind ein Beitrag zur Optimierung der Führung des Trocknungsprozesses sowie zur optimalen Gestaltung der Trommel und der gesamten Trocknungsanlage und damit eine wirksame Maßnahme zur weiteren Steigerung der Trockenfutterproduktion bei gleichzeitiger Kostensenkung.

2. Methodik

Den Ausgangspunkt der Untersuchungen bildeten wissenschaftlich-technische Analysen zur Kinetik der Gutbewegung in der Trocknungstrommel unter dem Einfluß unterschiedlicher Gutarten und unterschiedlicher äußerer Trocknungsparameter /1/. Unter Anwendung der allgemeinen Gesetze der Bewegung fester Teilchen im Luftstrom, insbesondere des Newtonschen Widerstandsgesetzes, wurden die Beschreibungsfunktionen für die Gutbewegung in der Trommel hergeleitet.

Für die mittlere Horizontalgeschwindigkeit des Gutes in der Trocknungstrommel und die Fallzeit z beim Abrieseln von den Einbauten ergaben sich folgende Zusammenhänge:

$$w_G = \left[w_L \cdot z - \frac{w_{GS}^2}{g} \ln \left(\frac{w_L \cdot g \cdot z}{w_{GS}^2} + 1 \right) \right] 60 \times n \quad (1)$$

$$z = \frac{w_{GS}}{g} \ln \left(\exp \frac{g \cdot h}{w_{GS}^2} + \sqrt{\exp \frac{2 \cdot g \cdot h}{w_{GS}^2} - 1} \right) \quad (2)$$

Die Sinkgeschwindigkeit w_{GS} des Gutes ist bei gegebenem Luftzustand von der Teilchendicke, der Dichte und dem Strömungswiderstandsbeiwert der Gutteilchen abhängig. Aufgrund der Heterogenität des Gutes führt eine rein rechnerische Bestimmung der Sinkgeschwindigkeit zu ungenauen Werten. Deshalb waren Versuche erforderlich. Die mittlere Gutgeschwindigkeit wurde zunächst aus den Meßwerten für die mittlere Verweilzeit des Gutes in der Trommel z und der Länge der Trommel ermittelt. Aus Gl. (1) und Gl. (2) läßt sich daraus in Verbindung mit der aus thermodynamischen Meßwerten berechenbaren mittleren Luftgeschwindigkeit in der Trommel die mittlere Sinkgeschwindigkeit des Gutes bestimmen. Die mittlere Gutgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Trommeldrehzahl und dem Luftstrom erhält man dann rechnerisch aus Gl. (1).

Der mittlere Füllungsgrad τ der Trommel wird nach folgenden Beziehungen bestimmt:

$$\tau = \frac{\dot{m}_G}{\rho_G \cdot w_G} \quad (3)$$

$$\dot{m}_G = \dot{m}_{Ga} \frac{1 + u_G}{1 + u_{Ga}} \quad (4)$$

3. Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse der Messungen, Analysen und Berechnungen bei Trocknung auf 12 Prozent Endwassergehalt sind:

— Die mittlere Horizontalgeschwindigkeit landwirtschaftlicher Güter in Trocknungstrommeln setzt sich bei konstantem Luftstrom aus einer drehzahlunabhängigen Grundgeschwindigkeit und einem von der Trommeldrehzahl abhängigen Geschwindigkeitsanteil zusammen (Bild 1).

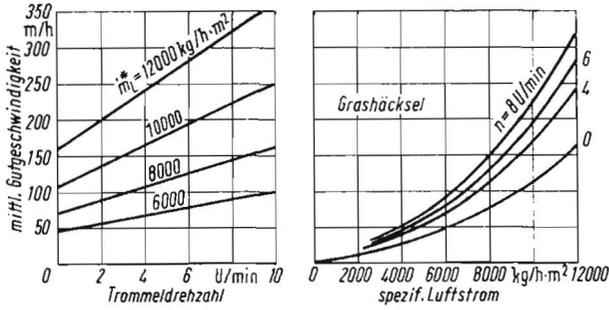


Bild 1. Mittlere Horizontalgeschwindigkeit von Grashäcksel in der Trocknungstrommel mit Kreuzeinbauten in Abhängigkeit von der Trommeldrehzahl und dem auf die Trommel-Querschnittsfläche bezogenen Luftstrom

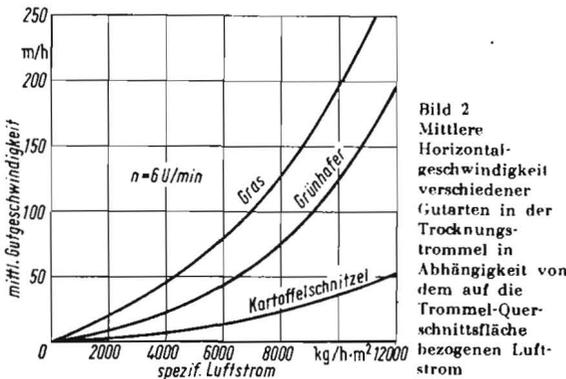


Bild 2. Mittlere Horizontalgeschwindigkeit verschiedener Gutarten in der Trocknungstrommel in Abhängigkeit von dem auf die Trommel-Querschnittsfläche bezogenen Luftstrom

Sie nimmt linear mit der Trommeldrehzahl zu. Der Anstieg der Geraden konstanter Luftgeschwindigkeit entspricht dem drehzahlabhängigen Anteil des horizontalen Förderweges des Gutes je 60 Trommelumdrehungen.

- Der Einfluß der Trommeldrehzahl auf den Guttransport ist bei kleinen Luftgeschwindigkeiten relativ gering: er steigt mit zunehmendem Luftstrom. Die Trommeldrehzahl hat bei Gutarten mit hoher Sinkgeschwindigkeit, z. B. bei Kartoffelschnitzeln, einen höheren Einfluß auf die Gutgeschwindigkeit als bei Gutarten mit geringer Sinkgeschwindigkeit, z. B. bei Gras. Hieraus ergibt sich die Schlußfolgerung, daß bei der Trocknung von Kartoffelschnitzeln die Einbeziehung der Trommeldrehzahl in die Steuerung des Trocknungsprozesses wirkungsvoller ist als bei Gras und Grünfutter.

- Der Einfluß des spezifischen Luftstroms auf die mittlere Horizontalgeschwindigkeit des Gutes ist hoch. Der Anstieg der Kurven gleicher Trommeldrehzahl ist progressiv.
- Die mittlere Horizontalgeschwindigkeit des Gutes in der Trocknungstrommel ist stark gutartabhängig (Bild 2).
- Der Eintrittswassergehalt des Gutes hat bei konstantem Luftstrom keinen feststellbaren Einfluß auf die mittlere Horizontalgeschwindigkeit des Gutes in der Trocknungstrommel. Die Ursache für diesen Sachverhalt liegt darin, daß mit zunehmendem Wassergehalt zwar die Sinkgeschwindigkeit der Gutteilchen wächst, gleichzeitig jedoch die erforderliche Eintrittstemperatur der Trocknungsluft steigt, was eine Verminderung der Luftdichte und demzufolge eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit zur Folge hat. Diese beiden einander entgegengerichteten Einflüsse sind etwa gleich groß und heben sich daher weitgehend wechselseitig auf. Dieses Ergebnis führt zu der wichtigen Feststellung, daß in Trommeltrocknern die mittlere Horizontalgeschwindigkeit des Gutes bei konstantem Luftstrom im wesentlichen von der Gutart und nicht vom Wassergehalt des Gutes abhängig ist.
- Der mittlere Trommelfüllungsgrad ist dem Gutstrom direkt proportional. Er sinkt bei konstantem Gutstrom und konstanter Trommeldrehzahl mit zunehmendem Luftstrom und bei konstantem Luft- und Gutstrom mit wachsender Trommeldrehzahl (Bild 3).
- Aus den Darstellungen wird weiterhin deutlich, daß bei gleichem Gutstrom und gleicher Trommeldrehzahl bei der Trocknung von Gras der mittlere Trommelfüllungsgrad weitaus niedrigere Werte annimmt als bei der Trocknung von Kartoffeln und von Gutarten, die aus einem Gemisch von Blatteilen und Anteilen dicker Pflanzenstengel (z. B. Grünhafer) bestehen. Die Diagramme lassen in Verbindung mit den aus Messungen ermittelten Grenzwerten für den maximal zulässigen Trommelfüllungsgrad folgende Aussagen und Schlußfolgerungen zu:
- Bei Gras ist der maximal zulässige Trommelfüllungsgrad niedriger als bei Gutarten, die aus einem Gemisch von Blatteilen und dicken Stengelteilen (z. B. Grünhafer und Lupine), bestehen. Die Ursache hierfür ist in der höheren Neigung bei Gras zu Trommelverstopfungen zu sehen. Bei gleichem Trommelfüllungsgrad ist der Gutdurchsatz bei Gras beträchtlich höher als bei Grünhafer und ähnlichen Gutarten, weil eine höhere Gutgeschwindigkeit herrscht.
- Eine hohe Trommeldrehzahl bewirkt in Übereinstimmung mit den Praxiserfahrungen eine Abnahme des Trommelfüllungsgrades. Bei geringen Eintrittswassergehalten,

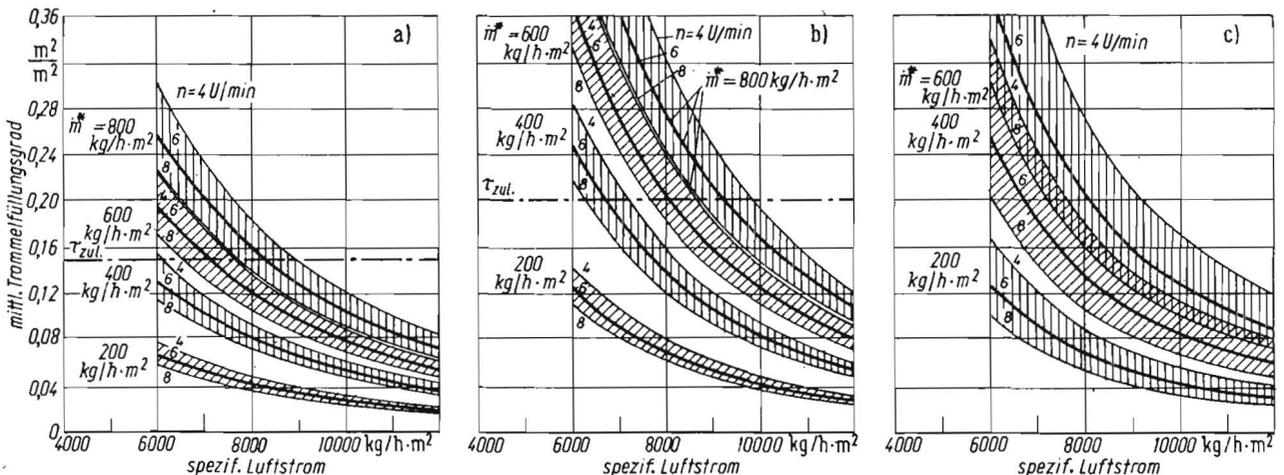


Bild 3. Mittlerer Trommelfüllungsgrad in Abhängigkeit von dem auf die Trommel-Querschnittsfläche bezogenen Luftstrom, dem Trockengutstrom und von der Trommeldrehzahl: a) Grashäcksel, b) Grünhaferhäcksel, c) Kartoffelschnitzel

z. B. bei Welkgut, sollte deshalb die Trocknungstrommel im oberen Drehzahlbereich gefahren werden. Dadurch wird bei gleichbleibendem Füllungsgrad der maximal zulässige Trockengutdurchsatz erhöht. Der dann eintretende höhere Energiebedarf wird durch die in diesem Bereich vorhandene Reserve der Feuerungsleistung gewährleistet. Im oberen Feuchtigkeitsbereich, in dem die Feuerung leistungsbegrenzend wirkt, empfiehlt es sich, die Trocknungstrommel im unteren Drehzahlbereich zu fahren. Dadurch ergibt sich eine höhere Trommelfüllung, die eine Erhöhung des mittleren spezifischen Wärmeübergangskoeffizienten bewirkt. Durch diese Maßnahme kann bei gleichbleibendem Wärmeangebot die Wasserverdampfung und damit auch der Trockengutausstoß erhöht werden. Die dargelegten Zusammenhänge sind sowohl für die Begründung einiger wesentlicher Betriebseigenschaften des Trommeltrockners als auch für die Dimensionierung der Nachfolgeeinrichtungen im Anschluß an die Trocknungstrommel und für die Optimierung der gesamten Trocknungsanlage von Bedeutung.

4. Zusammenfassung

Hohe spezifische Leistungswerte von Trocknungstrommeln erfordern maximale Füllungsgrade. Auf der Grundlage wissenschaftlich-technischer Analysen und experimenteller Untersuchungen wurde ein Beitrag zur Klärung der bestehenden Zusammenhänge zwischen Trommelfüllungsgrad, Gutgeschwindigkeit, Gutdurchsatz, Luftstrom und Trommeldrehzahl geleistet. Die Ergebnisse sind für die Optimierung der Führung des Trocknungsprozesses sowie für die optimale Gestaltung der Trommel und der gesamten Trocknungsanlage von Bedeutung.

Literatur

- 1¹ Dräger, J.: Zusammenhang zwischen dem Trommelfüllungsgrad, dem Gutdurchsatz und den Betriebsgrößen des Trockners. Abschnitt 5.6.1. des Abschlußberichts „Rationalisierung der Heißlufttrocknung von Grünfütter, Hackfrüchten und Ganzpflanzen“ des IFM Potsdam-Bornim 1974 (unveröff.).
- 2¹ Rettig, H.; Dräger, J.: Verweilzeitmessung an Trommeltrocknern der Landwirtschaft mit radioaktiven Nukliden. Dt. Agrartechnik 20 (1970) H. 3, S. 149–151. A 9842

Untersuchungen zur Verbesserung des Agglomerationsverhaltens von Futtermittelgemischen mit hohen Strohanteilen¹

Prof. Dr.-Ing. H. Krug, KDT / Dr.-Ing. W. Naundorf, KDT

Bergakademie Freiberg, Sektion Verfahrenstechnik und Silikatechnik, Bereich Spezielle Verfahrenstechnik

1. Aufgabenstellung

In 1¹ haben die Verfasser über das Agglomerationsverhalten von Grund-, Teil- und Fertigfuttermitteln berichtet.

Unzureichend verfestigte Formlinge entstehen nach 1/2¹, wenn Futtermittelgemische mit hohen Anteilen an Getreideganzpflanzen verpreßt werden müssen. Gute Festigkeiten der Preßlinge werden erreicht, wenn diesen Futtermittelgemischen zusätzlich etwa 20 Prozent mit Natronlauge aufgeschlossenes Stroh oder etwa 10 Prozent Melasse zugesetzt werden.

Dieser Beitrag informiert über neue Untersuchungen und Ergebnisse von Preßversuchen mit höherem, teilweise unbegrenztem Strohanteil. Bei den Versuchen wurde wie bei den in 1/2¹ beschriebenen mit Natronlauge aufgeschlossenes Stroh als „Brikettierhilfsmittel“ verwendet, wodurch sich auch dessen Nährwert erhöhte.

Außerdem bieten Formlinge aus reinem NaOH-Stroh auch für andere Industriezweige Vorteile (z. B. Zellulosegewinnung aus Stroh).

Als weitere „Bindemittel“ wurden im Rahmen dieser Arbeit verschiedene Silagen untersucht.

2. Grundlagenuntersuchungen auf der hydraulisch betriebenen Stempelpresse mit geschlossener Form

2.1. Das Agglomerationsverhalten von aufgeschlossenem Stroh

Der Strohaufschluß wird gegenwärtig zumeist durch Beregnung des Häckselgutes mit 6prozentiger Natronlauge in einem Lauge/Stroh-Masseverhältnis von 1:1 durchgeführt. Es ist bekannt, daß sich neben der Erhöhung des Strohnährwerts durch dieses Aufschlußverfahren gleichzeitig auch das Brikettiervermögen des behandelten Strohs etwas verbessert. Die Bindemittelwirkung dieses aufgeschlossenen Gutes ist jedoch bei weitem noch nicht ausreichend zur Erzeugung fester und lagerbeständiger Formlinge.

Bild 1 zeigt die Trommelfestigkeit T 30 der Formlinge in Abhängigkeit von der Feinheit und vom Feuchtegehalt des mit Natronlauge aufgeschlossenen Strohs. Danach kann festgestellt werden, daß alle Kennlinien bei einem Feuchtegehalt des reinen NaOH-Strohs von rd. 25 Prozent ein Maximum der Trommelfestigkeit durchlaufen. Bei unteroptimalem Feuchtegehalt verschlechtert sich die Festigkeit des Brikettverbandes vor allem wegen der verschlechterten Klebrigkeit der zu weit ausgetrockneten Strohs substanz. Die durch den chemischen Aufschluß aktivierten Bindekräfte sind hier „eingefroren“. Als Folge der Übertrocknung des Brikettiergutes verringert sich auch die für die Ausbildung eines stabilen Formlingsverbandes notwendige Druckplastizität zugunsten der unerwünschten Elastizität. Bei überoptimalen Feuchtegehalten wird während des Brikettierprozesses mit ansteigenden w-Werten zunehmend Flüssigkeit ausgepreßt, wobei teilweise völlig deformierte Formlinge entstehen. Die Festigkeit dieser Preßlinge ist zumeist sehr gering, weil durch die überschüssige Flüssigkeit die Ausbildung von Bindungen zwischen den einzelnen Strohhalmen stark gehemmt wird. Nachteilig ist außerdem, daß die zu feuchten Preßlinge sehr stark an den Preßformzeugen ankleben.

Wird durch die weitere Zumischung von Kraftfutter eine Bedampfung des Brikettiergutes notwendig, so darf die Strohfeuchtigkeit 25 Prozent möglichst nicht überschreiten, weil es sonst durch den zusätzlich eingeblasenen Wasserdampf an der Strotoberfläche lokal zu schädlichen Überfeuchtungen kommen kann.

Die in Bild 1 dargestellte Trommelfestigkeit der Formlinge sinkt mit zunehmender Feinheit des Strohs nur schwach ab, weil mit kleiner werdender Halmlänge die formschlüssigen Verbindungen im Brikettverband weniger wirksam werden. Der Abfall der Formlingsfestigkeit wird jedoch größtenteils durch den intensiveren chemischen Aufschluß des feineren Strohs kompensiert. In der Praxis sollte demzufolge das Stroh mindestens auf eine Halmlänge von etwa 10/0 mm zerkleinert werden, wobei auch der Verpressungsprozeß selbst wesentlich günstiger abläuft 1/1.

¹ Ein Teil der experimentellen Arbeiten wurde von cand. ing. W. Küttner im Rahmen seiner Diplomarbeit in gewissenhafter Weise ausgeführt