

Vorschläge zur Rekonstruktion und optimalen Betriebsführung landwirtschaftlicher Trommeltrockner

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

1. Zielstellung

Zur weiteren Erhöhung der Trockengutproduktion und zur Verbesserung der Materialökonomie sind die Leistungsreserven der bestehenden Trommeltrocknungsanlagen zu erschließen. Das betrifft Maßnahmen gegen den zu hohen Falschlufteintritt sowie die verbesserte Gestaltung der Trommeleinbauten, die in ihrer bisherigen Form den gegenwärtigen Anforderungen des verstärkten Einsatzes von Welkgut, Ganzpflanzen und Hackfrüchten nicht mehr optimal genügen. Im Rahmen der Forschungsarbeiten des Instituts für Mechanisierung waren hierzu die bestehenden Möglichkeiten zu analysieren. Zur verbesserten Anpassung der Trommeltrockner vor- und nachgeschalteten Einrichtungen an das Leistungsvermögen der Trocknungstrommel waren weiterhin Untersuchungen über die Leistungsgrenzen der Trommel vom Typ UT 66 anzustellen. Hieraus waren gleichzeitig Empfehlungen zur optimalen Betriebsführung dieser Trockner abzuleiten.

2. Vorschlag zur verbesserten Gestaltung der Trommeleinbauten

Grundlage für den erarbeiteten konstruktiven Vorschlag zur verbesserten Gestaltung der Trommeleinbauten sind die folgenden wesentlichen Erkenntnisse aus Untersuchungen über

den verfahrenstechnischen Grundprozeß, d. h. den Wärme- und Stofftransport innerhalb der Trocknungstrommel /1/:

- Die mittlere Horizontalgeschwindigkeit des Gutes ist in der Schleierzone größer als in der Kreuzzone; die Momentangeschwindigkeit wächst in der jeweiligen Trommelzone mit zunehmendem Förderweg des Gutes.
- Der Trommelfüllungsgrad erreicht am Anfang der Kreuzzone Maximalwerte und sinkt in jeder Trommelzone mit wachsender Gutgeschwindigkeit. Die Gefahrenzone in bezug auf Trommelverstopfungen ist hiernach und in Übereinstimmung mit den Erfahrungen der Praxis auf ein sehr schmales Gebiet unmittelbar am Anfang der Kreuzzone konzentriert.
- Der auf 1 m³ Trommelvolumen bezogene Wärmeübergangskoeffizient ist mit großer Genauigkeit dem Trommelfüllungsgrad direkt proportional, und die von dieser Größe abhängige Wasserverdampfung wird deshalb mit zunehmendem Förderweg des Gutes fortlaufend kleiner.

Der konstruktive Änderungsvorschlag basiert auf folgenden Prinzipien:

- Verlängerung der Kreuzzone um einen Einbautensatz von 2 m zu Lasten der Schleierzone, von der nachgewiesen wurde, daß sie zu lang bemessen ist und nur eine geringe spezifische Verdampfungsleistung aufweist.
- Erhöhung des mittleren Kreuzabstands in der ersten Kreuzeinbauzone, wodurch der Fallweg von Kreuzeinbau zu Kreuzeinbau beim Abrieselvorgang verlängert und demzufolge die mittlere Horizontalgeschwindigkeit des Gutes in diesem Abschnitt erhöht wird, was gleichbedeutend mit einer Reduzierung des Füllungsgrades ist.
- Verminderung des mittleren Kreuzabstands am Ende der Kreuzzone zur Erhöhung des Füllungsgrades mit dem Ziel, die Trocknungsleistung in dieser Zone zu erhöhen.

Bei der Festlegung der Kreuzabstände muß berücksichtigt werden, daß der Rieseleffekt des Kreuzeinbaus erhalten bleiben soll, d. h., die umgestaltete Kreuzanordnung muß der ursprünglichen geometrisch ähnlich sein. Die Kreuzabstände können deshalb nicht beliebig, sondern nur in bestimmten Stufen variiert werden.

Bei der vorgeschlagenen Einbautenkonstruktion beträgt die Kreuzbreite in der ersten 2-m-Zone 425 mm, in der zweiten und dritten 2-m-Zone 300 mm und in der vierten und fünften Kreuzzone 230 mm (Bild 1). Die Befestigung des zusätzlichen Einbautensatzes in der Schleierzone kann ähnlich wie die der übrigen Kreuze mit Hilfe von treppenförmigen Halteblechen erfolgen, wobei die Form dieser Bleche den veränderten Kreuzabständen angepaßt werden muß. Die Anordnung der Haltebleche sollte um 90° versetzt zu den vorhandenen Halteblechen erfolgen, damit der Transport des Gutes durch die Trommel nicht behindert wird.

Die Ergebnisse der wissenschaftlich-technischen Analyse der Gutbewegung in Trocknungstrommeln ermöglichen es, die Fördereigenschaften der vorgeschlagenen umgestalteten Trommel vorzubestimmen. Eine ausführliche Berechnung führt zu dem Ergebnis, daß sich durch die Umgestaltung der maximal zulässige mittlere Trommelfüllungsgrad um etwa 20 Prozent erhöht, was einer Zunahme des Gutdurchsatzes und damit der Trockengutproduktion um den gleichen Prozentsatz gleichkommt.

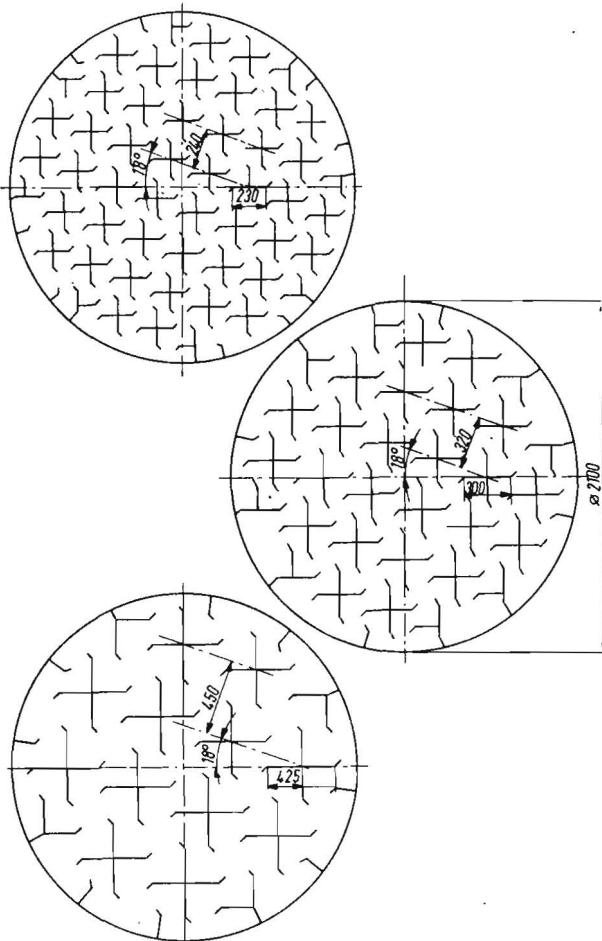


Bild 1. Trommeleinbauten unterschiedlicher Kreuzbreite

Eine Durchsatzsteigerung dieser Größenordnung rechtfertigt es somit, die bestehenden Trocknungsanlagen vom Typ UT 66 nach dem unterbreiteten Vorschlag umzurüsten, wobei als minimale Maßnahme die Verlängerung der Kreuzzone um einen Einbautensatz bei durchgängig gleichem Kreuzabstand angesehen wird. Diese Veränderungen müssen zunächst in einer Versuchsanlage realisiert und erprobt werden.

3. Maximale Trocknerleistung und optimale Betriebsführung

Die Ergebnisse der Berechnungen und Analysen über die bestehenden Abhängigkeiten zwischen den Betriebsparametern bei maximaler Leistung der Trocknungstrommel sind in den Bildern 2 bis 4 wiedergegeben.

Die Kurve „Gras“ gilt für alle Gutarten, die ausschließlich aus Blattanteilen bestehen. Die Kurve „Grünhafer“ steht stellvertretend für alle Gutarten, die ein Gemisch aus dicken Stengelanteilen und leichten Blattanteilen bilden, sie gilt daher auch für andere Grüngetreidesorten, Gemenge großkörniger Leguminosen und hinreichend genau auch für Ganzpflanzen. Die Gutarten Luzerne und Rotklee, die einen geringeren Stengelanteil besitzen, sind jeweils zwischen der Kurve für Gras und der Kurve für Grünhafer einzuordnen.

Die in den Diagrammen enthaltenen Leistungsgrenzen werden wie folgt begründet:

Messungen an Trocknungsanlagen vom Typ UT 66 ergaben bei der Verarbeitung von Welkgras für den Trockengutausstoß Werte bis zu 2,5 t/h bezogen auf die Grundzeit. Der Luftstrom betrug im Mittel 25 000 kg/h und die Trommeldrehzahl 8 U/min, lag also an der oberen Grenze. Bei diesen Messungen wurden die Nachfolgeeinrichtungen in der Weise verändert, daß sie nicht durchsatzbegrenzend wirkten und die Trocknungstrommel somit mit maximalem Durchsatz gefahren werden konnte. Beim Überschreiten dieses Wertes traten Anzeichen für das Erreichen des maximal möglichen Durchsatzes auf, erkennbar an beginnender Trommelverstopfung und am Auftreten einzelner verkohlter Gutteile. Mit den Meßwerten für den Luftstrom, die mittlere Verweilzeit des Gutes in der Trommel und die Trommeldrehzahl konnte der zugehörige Wert des Trommelfüllungsgrades zu 16 Prozent errechnet werden, der gleichzeitig als oberer Grenzwert für diese Gutart angesehen werden kann. Bei Lupine wurde ein maximaler Trockengutausstoß von 1,5 t/h gemessen, wobei die Leistungsgrenze der Trommel noch nicht erreicht worden war. Bei Eingangfeuchten des Gutes von etwa 83 Prozent wirkte hier die Feuerung leistungsbeschränkend. Unter Berücksichtigung einer noch vorhandenen geringen Leistungsreserve der Trommel kann für diese Gutart ein maximaler Trommelfüllungsgrad von etwa 20 Prozent zugrunde gelegt werden. Auf diese Weise wurden die maximalen, auf die Grundzeit bezogenen Trockengutdurchsätze der Trommel UT 66 bestimmt. Sie betragen für Gras 2240 kg/h und für Gutarten, die aus einem Gemisch von leichten Blatteilen und schwereren Stengelteilen bestehen, 1600 kg/h. Diese Werte bilden eine der drei den Diagrammen zugrunde gelegten oberen Schranken. Die zweite obere Schranke ergibt sich aus der maximalen Leistung der Feuerung von 5,04 Geal/h, wobei eine Leistungsreserve von 5 Prozent für den Regelbereich berücksichtigt wurde. Bei dem zugrunde gelegten Luftstrom von 25 000 kg/h entspricht diese Feuerungsleistung einer maximalen tatsächlichen Trommel-Eingangstemperatur von 850 °C unter der Voraussetzung, daß der Trockner fahrluftfrei arbeitet. Die dritte obere Schranke, die aus praktischen Meßergebnissen bestimmt wurde, ist durch die Temperaturverträglichkeit des Gutes gegeben. Sie wird nur bei Gras wirksam, bei den übrigen Gutarten tritt bereits zuvor eine Begrenzung durch die Feuerungsleistung ein.

Die Eingangstemperatur wurde in Abhängigkeit von der Eingangfeuchte des Gutes so berechnet, daß ständig eine der Grenzen wirksam ist, d. h., daß der Trockner bei jeder Gutfeuchte mit maximaler Leistung gefahren wird.

Die Diagramme lassen folgende Aussagen und Schlußfolgerungen zu:

Bild 2
Trommel-Eingangstemperatur und Trockengutausstoß in Abhängigkeit vom Eintrittswassergehalt des Gutes bei optimaler Auslastung des Trommeltrockners (Typ UT 66)

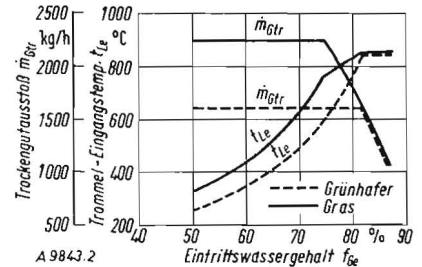


Bild 3
Frischgutdurchsatz und Wasserverdampfung in Abhängigkeit vom Eintrittswassergehalt des Gutes bei optimaler Auslastung des Trommeltrockners (Typ UT 66)

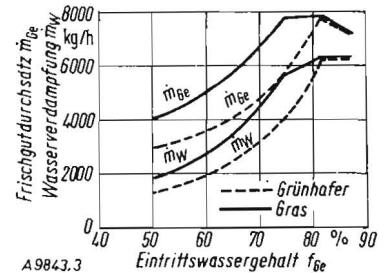
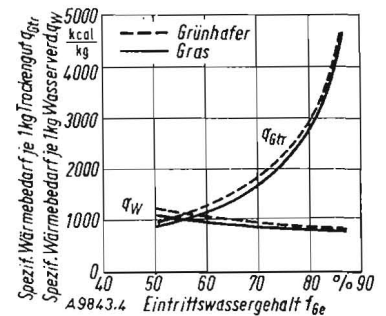


Bild 4
Spezifischer Wärmebedarf bezogen auf 1 kg Wasserverdampfung q_W und 1 kg Trockenguterzeugung q_Gtr in Abhängigkeit vom Eintrittswassergehalt des Gutes (Typ UT 66)



— Der Trommeltrockner hat bei jeder Gutart und jedem Eintrittswassergehalt des Gutes eine bestimmte obere Leistungsgrenze mit jeweils unterschiedlicher Ursache. Bei Eintrittswassergehalten des Gutes von 50 bis 75 Prozent bei Gras bzw. bis 82 Prozent bei anderen Gutarten kann konstant mit maximalem Trockengutdurchsatz gefahren werden. Für die Trommeldrehzahl ist der obere Bereich zu wählen. Bei Gras existiert ein Bereich zwischen 75 und 82 Prozent, bei dem die Anlage mit gedrosselter Feuerungsleistung und vermindertem Trockengutausstoß gefahren werden muß, da hier die Empfindlichkeit dieser Gutart gegen zu hohe Lufttemperaturen bei vermindertem Eintrittswassergehalt als Leistungsgrenze wirksam wird. Bei Eintrittswassergehalten des Gutes über 82 Prozent kann die maximale Feuerungsleistung ausgenutzt werden (Bild 2), die dann als Leistungsgrenze wirkt. Hier ist die Trocknungstrommel im mittleren und unteren Drehzahlbereich zu fahren.

— Der spezifische Wärmebedarf je 1 kg Wasserverdampfung wird in nur verhältnismäßig geringem Ausmaß vom Eintrittswassergehalt des Gutes beeinflusst. Bei einer Verminderung des Eintrittswassergehalts von 82 auf 50 Prozent steigt er von 800 kcal/kg auf maximal 1200 kcal/kg an, das entspricht 50 Prozent Zuwachs. Der spezifische Wärmebedarf je 1 kg Trockengut vermindert sich dagegen beträchtlich mit kleiner werdendem Eintrittswassergehalt des Gutes (Bild 4) und zwar von 3000 auf unter 1000 kcal/kg, das entspricht einer Senkung auf ein Drittel. Da die Wirtschaftlichkeit der Heißlufttrocknung in entscheidendem Maße von den Brennstoffkosten je kg Trockengut beeinflusst wird, muß die Forderung nach konsequenter Anwendung des Welkens von Futterpflanzen nach der Mahd entschieden bekräftigt werden.

(Fortsetzung auf Seite 175)

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).