

Probleme der künstlichen Grünfütterttrocknung auf dem Schrägrosttrockner

1. Die künstliche Trocknung ist notwendig, um die Futterbasis sichern zu helfen

Das Gesetz über den 2. Fünftjahrplan sieht u. a. eine Erhöhung der tierischen Produktion bis zum Jahre 1960 auf 118,9% vor. Die Tierhaltung muß dabei vergrößert werden, obwohl die landwirtschaftliche Nutzfläche konstant bleibt. Dieser scheinbare Widerspruch kann beseitigt werden, wenn das erzeugte Futter ohne Nährwertminderung an die Tiere verabreicht wird.

Die künstliche Trocknung von Grüngut auf dem Schrägrosttrockner kann hierzu wesentlich beitragen. Treten bei natürlicher Trocknung Nährstoffverluste von über 30% bei schönem Wetter und von über 60% bei schlechten Witterungsverhältnissen auf, so können diese Verluste mit künstlicher Trocknung bei richtiger Handhabung der Arbeitskette auf ungefähr 5% gesenkt werden.

2. Kurze Beschreibung der Anlage

Den folgenden Betrachtungen liegt der Schrägrosttrockner, der in der LPG „Bundschuh“ in Biere aufgebaut wurde, zugrunde. Die gesamte Anlage befindet sich in einem Gebäude.

In Bild 8 ist das kinematische Schema der Anlage skizziert. Es erleichtert den Überblick bei der folgenden Beschreibung.

*) Institut für Landtechnik Potsdam-Bornim, Versuchs- und Prüfstation Dresden, der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin (Direktor: Prof. Dr. S. ROSEGGER).

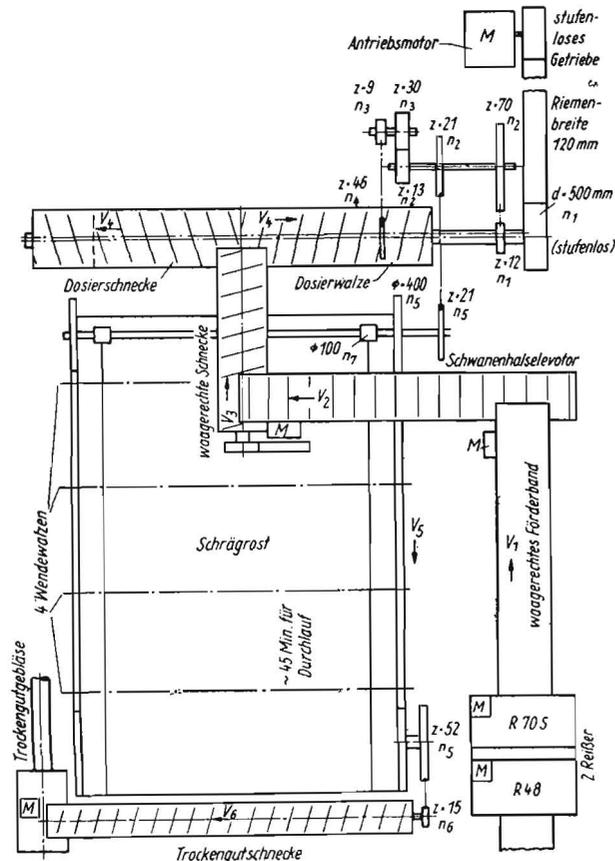


Bild 8. Kinematisches Schema des Schrägrosttrockners

An zwei Stellen kann das zu trocknende Gut mittels Greifer (Bild 3)¹⁾ wechselweise im sogenannten Aufbereitungsraum abgeladen werden. Das im Häcksler oder Reißer gleichmäßig aufbereitete Gut gelangt über das waagrechtchen Förderband, den Schwanenhalselevator und eine waagrechtchen Schnecke zur Dosiereinrichtung (Bild 1 und 9). Hier wird es aus der Mitte heraus von der Dosierschnecke nach links und rechts über die gesamte Breite der Dosierwalze befördert, durch die eine gleichmäßige Beschickung des Schrägrostes erfolgt. Der Antrieb ist stufenlos regelbar. Auf dem Rost wird das Gut durch vier Walzen gewendet, gelockert und gleichzeitig vorwärts befördert (Titelbild).

Vom Rost gelangt das nun trockene Gut über die Trockengutschnecke und das Trockengutgebläse (Bild 2) zum Lagerraum oder zum Sortierer (Bild 6), wo es abesackt werden kann.

Die vor dem Gebäude liegende Rohbraunkohle wird durch einen Falltrichter auf ein Kratzförderband geschaufelt, das den Bunker auf dem eingebauten Muldenrost-Feuerungsofen beschickt (Bild 7). Er setzt sich zusammen aus dem Feuerungsraum, der Beruhigungskammer, in der sich der grobe Staub durch Umlenkung der Rauchgase absetzt, und der Mischkammer. In ihr wird die Frischluft angesaugt und damit die Rauchgastemperatur geregelt. An der Mischkammer befindet sich außer einer Drosselklappe, die die Ansaugmenge der Rauchgase regelt, noch ein Thermostatschalter, der auf die Temperatur im Druckstutzen der Gebläse reagiert und bei

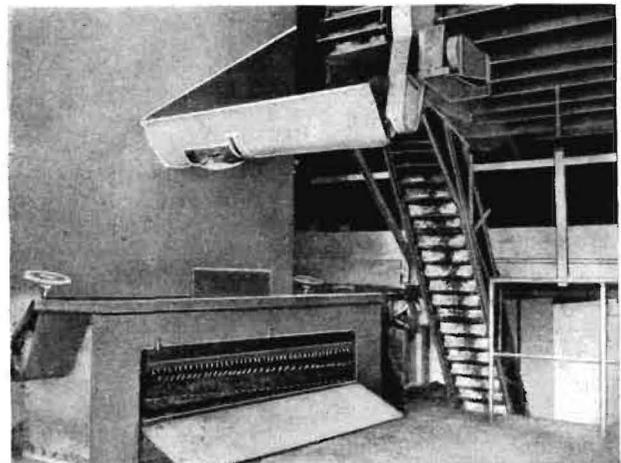


Bild 9. Die Dosiereinrichtung der Anlage

Überschreiten der eingestellten Temperatur automatisch eine Jalousie öffnet, dabei mehr Frischluft ansaugt und die Trocknungstemperatur unter die eingestellte Höchstgrenze bringt (Bild 4).

Drei übereinander angeordnete Gebläse saugen die Heißluft aus der Mischkammer. Im Sogstutzen kann mit Hilfe der Drossel- und Ringschieber nochmals die Frischluftzuführung und damit die Heißlufttemperatur geregelt werden (Bild 5). Anzeigetafeln gestatten die Kontrolle der Temperaturen.

Die Gebläse blasen die Heißluft in drei Zonen – oben 180° C, Mitte 150° C, unten 130° C – unter den Schrägrost. Die einzu-

¹⁾ Bild 1 bis 7 siehe 3. Umschlagseite.

stellenden Temperaturen richten sich natürlich nach dem Trocknungsgut. Die mittlere Guttemperatur soll 60° C nicht überschreiten.

Die mit Wasserdampf gesättigten Gase entweichen durch den Brüdenabzug ins Freie. Eine Schidewand, die an der Decke des Trockenraumes angebracht ist, trennt die gesättigten und ungesättigten Gase. Letztere gelangen durch den Rückführkanal hinter der Drosselklappe in die Mischkammer und werden so wieder in den Trocknungsprozeß miteinbezogen.

3. Änderungen und Verbesserungen gegenüber 1954

Der Schrägrosttrockner stellt einen Universalrockner dar, der Grüngut, Kartoffelschnitzel und mit Einschränkung auch Maiskolben und Getreide zu trocknen gestattet.

Durch Mechanisierung der einzelnen Arbeitsgänge wurde der Arbeitskräftebedarf verringert. So wurde u. a. eine elektrische Greiferbahn eingebaut. Mit Hilfe des Greifers können die Wagen entladen und die Aufbereitungsmaschinen beschickt werden, indem eine Greiferfüllung auf eine schiefe Ebene gebracht wird, von hier aus gelangt das Gut gleichmäßig zum Häcksler oder Reißer.

Die Kohlenbeschickung erfolgt mit Schrappschaufel. In relativ kurzer Zeit ist der Kohlenbunker auf dem Ofen gefüllt.

Der Schwanenhalselevator kann bei dem rauhen Betrieb nicht genügend gewartet werden. Dadurch wird er zu störanfällig. Er kann durch ein einfaches Kastenförderband ersetzt werden.

Vom Herstellerwerk wurde eine Rübenblattwäsche eingeplant, die bei stark verschmutzten Blättern erwünscht sein dürfte.

Ein ernstes Problem stellt z. Z. noch die Dosierung dar. Homogen zugeführtes Gut wird von den Wendewalzen periodisch weitergeleitet. Da das nasse Gut auf den heißen Rost fällt und dort einige Zeit liegen bleibt, backt es fest. Die Anlage muß dann stillgelegt und die Trockenmasse mit Gewalt abgeschlagen werden.

Es wird an einer neuen Dosierung gearbeitet, die diesen Mangel ausschließen wird.

Von der Industrie muß gefragt werden, ob die Tiere das Trockengut in grobem oder feinem (Staub) Zustand besser aufnehmen und verdauen. Beim Transport des Futters durch das Trockengutgebläse wird ein erheblicher Prozentsatz an Blättern und Stengeln zerschlagen. Die gewünschte Struktur des Futters muß deshalb dafür ausschlaggebend sein, ob das Trockengut mit Gebläse oder Förderband weitertransportiert wird.

Der Aufbereitung ist größte Sorgfalt zu widmen. Früher waren zwei hintereinander geschaltete Reißer notwendig, um gleichmäßiges Gut zu erhalten; der neue Spezialreißer von GRUMBACH arbeitet jetzt sehr zufriedenstellend. Der entwickelte Kartoffelschnitzler befriedigt ebenfalls, er ist aber gegen Steine sehr empfindlich.

Ein besserer Anlagewirkungsgrad wird zweifellos mit einer Ölfeuerung erreicht. Die Bedienung und Wartung würde damit einfacher. Bei der Neuaufstellung von Trocknern sollte man also untersuchen, welcher Brennstoff billiger zu beschaffen ist, danach müßte die Feuerung gewählt werden.

4. Stoff- und Wärmebilanz eines Trockners

Im anschließenden Rechenbeispiel soll die Leistung eines Schrägrosttrockners bei der Rübenblatttrocknung dargestellt werden; die angenommenen Werte sind den Prüfwerten angepaßt:

Der Schrägrosttrockner soll stündlich 2000 kg Rübenblatt von 85% auf 12% herabtrocknen. Die Stoff- und Wärmebilanzen sind aufzustellen. Ferner ist die Luftmenge zu errechnen, die für die Trocknung notwendig ist.

Die in den Trockner geblasene Luftfeuchtigkeit x_1 wird = 0,025 (kg/kg) gesetzt. Als Eintrittstemperatur werden im Mittel 150° C angenommen.

Durch den Rücklaufkanal sollen stündlich 5000 Nm³ ungesättigte Heißluft von 80° C wieder in den Trocknungsprozeß miteinbezogen werden.

Im Brüdenabzug sollen eine mittlere Temperatur von 60° C und eine durchschnittliche Luftfeuchtigkeit von 50% vorhanden sein. Geheizt wird mit Rohbraunkohle, die einen unteren Heizwert von $H_u = 2500$ (kcal/kg), 50% Feuchtigkeit und 10% Ascheanfall aufweist. In der Asche befinden sich 10% unverbrannte Bestandteile.

Während der Trocknung werden stündlich 600 kg Rohbraunkohle und 40 kW Strom verbraucht. Als Barometerstand werden 770 mm QS, als Feuchtigkeit 80% und als Außentemperatur 12° C berücksichtigt. Die Frischguttemperatur soll 10° C und die mittlere Trockenguttemperatur auf dem Rost 60° C betragen.

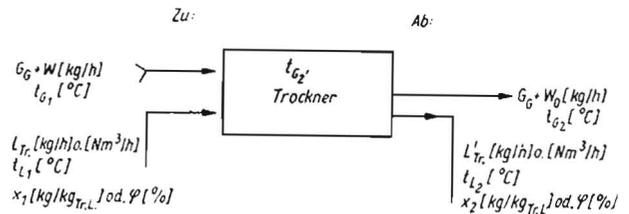


Bild 10. Trockner – Stoffbilanz

Stoffbilanz (Bild 10)

Es gilt $(G_G + W) =$ Gesamtgewicht des zu trocknenden Gutes. Mit Rücksicht auf die verschiedenen spezifischen Wärmen von Trockengut und Wasser empfiehlt sich die Trennung.

Hierin bedeuten:

$G_N = G_G + W$ [kg/h]	Naßgewicht
$G_{Tr} = G_G + W_0$ [kg/h]	Trockengewicht
t_{G1} [° C]	Naßguttemperatur
t_{G2} [° C]	Trockenguttemperatur
$t_{G2'}$ [° C]	Trockenguttemperatur auf dem Rost
L_{Tr} [Nm ³ /h] oder [kg/h]	die in den Trockner geblasene Trockenluftmenge
t_{L1} [° C]	Lufttemperatur vor dem Trockner
t_{L2} [° C]	Lufttemperatur im Brüdenabzug
x_1 [kg/kg tr. L]	Feuchtigkeit je kg trockener Luft vor dem Trockner
x_2 [kg/kg tr. L]	Feuchtigkeit je kg trockener Luft nach dem Trockner

Die erforderliche Luftmenge errechnet sich zu:

$$W - W_0 = (x_2 - x_1) L_{Tr} \text{ [kg/h]}$$

$$\Delta W = (x_2 - x_1) L_{Tr} \text{ [kg/h]}$$

$$L_{Tr} = \frac{\Delta W}{x_2 - x_1} \text{ [kg/h].}$$

Die verdunstete Wassermenge ΔW [kg/h] errechnet sich aus:

$$\Delta W = G_N - G_{Tr} \text{ [kg/h]}$$

$$G_N = 2000 \text{ [kg/h]}$$

$$G_{Tr} = \frac{100 - f_e}{100 - f_a} \cdot G_N$$

$$f_e = 85\% \text{ Naßgutfeuchtigkeit}$$

$$f_a = 12\% \text{ Trockengutfeuchtigkeit}$$

$$G_{Tr} = 340 \text{ [kg/h].}$$

Daraus ergibt sich

$$\Delta W = 1660 \text{ [kg/h]}$$

x_2 ist laut Aufgabe nach dem i - x -Diagramm

$$x_2 = 0,068 \text{ [kg/kg tr. L].}$$

x_1 setzt sich zusammen aus Frischluft-, Rücklauf- und Brennstoffeuchte und beträgt laut Aufgabe 0,025 [kg/kg].

Somit kann man die erforderliche Luftmenge ausrechnen:

$$L_{Tr} = \frac{1660}{0,068 - 0,025} = \frac{1660}{0,043} = 38600 \text{ [kg/h]}$$

oder in [Nm³/h] umgerechnet:

$$L'_{Tr} = L_{Tr} \cdot v_0 \text{ [Nm}^3\text{/h]}$$

$$v_0 = 0,773 \text{ [Nm}^3\text{/kg]}$$

$$L'_{Tr} = 30000 \text{ [Nm}^3\text{/h} \hat{=} 8,3 \text{ [Nm}^3\text{/s]}.$$

Ungefähr 8,5 [Nm³/s] Luft werden zur Trocknung benötigt, wenn Verhältnisse bestehen, wie sie in der Aufgabe vorgesehen sind.

Die Grundstoffmenge G_G errechnet sich zu

$$G_G = \frac{100 - f_e}{100} \cdot G_N = 300 \text{ [kg/h]}.$$

Im Trockngut verbleibende Wassermenge W_0 [kg/h]

$$W_0 = G_{Tr} - G_G = 40 \text{ [kg/h]}.$$

Verhältnis Trocken- zu Naßgewicht

$$G_N : G_{Tr} = 2000 : 340 = 5,9 : 1.$$

Wärmebilanz

In Bild 11 wurden die einzelnen Werte der Wärmebilanz im Maßstab 1 mm $\hat{=} 20000$ [kcal/h] aufgetragen. Interessant ist die Gegenüberstellung der Größenverhältnisse.

Kohlenenergie

$$Q_K = B \cdot H_u \text{ [kcal/h]}$$

$$B = 600 \text{ [kg/h] Brennstoff}$$

$$H_u = 2500 \text{ [kcal/kg] unterer Heizwert}$$

$$Q_K = 1500000 \text{ [kcal/h]}.$$

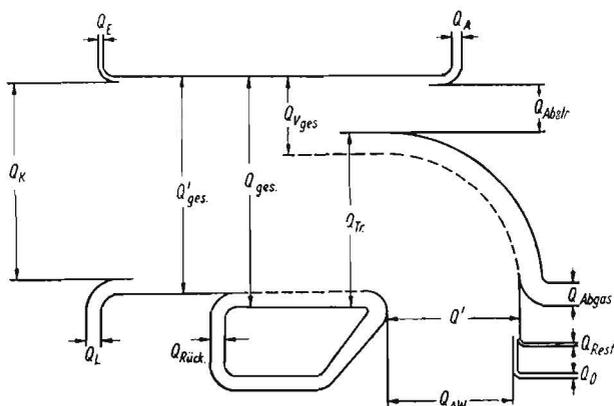


Bild 11. Energiebilanz-Schaubild

Ansaugluftenergie

$$Q_L = L'_{Tr} \cdot C_{p_m} \cdot \Delta t \text{ [kcal/h]}$$

$$L'_{Tr} = 30000 \text{ [Nm}^3\text{/h]}$$

$$C_{p_m} = 0,316 \text{ [kcal/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C]}$$

$$\Delta t = 12^\circ \text{C}$$

$$Q_L = 114000 \text{ [kcal/h]}.$$

Elektrische Energie

Die elektrische Energie muß in der Wärmebilanz enthalten sein, obwohl sie nur indirekt an der Trocknung teilnimmt. Ohne Strom wäre die Trocknung unmöglich.

Stündlicher Stromverbrauch: 40 kW

$$1 \text{ kW} \hat{=} 860 \text{ kcal}$$

$$Q_E = 40 \cdot 860 \approx 35000 \text{ [kcal/h]}.$$

Gesamte aufgewandte Energie

$$Q'_{ges} = Q_K + Q_L + Q_E = 1650000 \text{ [kcal/h]}.$$

Hinzu kommt die aus der Rückluft gewonnene Energie.

Rückluftenergie

$$Q_{Rück} = V \cdot C_{p_m} \left(\begin{array}{l} t'_{Rück} \\ t_{L_1} \end{array} (t'_{Rück} - t_{L_1}) \right) \text{ [kcal/h]}$$

$$t_{L_1} = 12^\circ \text{C}$$

$$C_{p_m} = 0,315 \text{ [kg/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C]}$$

$$V = 5000 \text{ [Nm}^3\text{/h]}$$

$$t'_{Rück} = 80^\circ \text{C}$$

$$t_{G_1} = 10^\circ \text{C}$$

$$Q_{Rück} = 110000 \text{ [kcal/h]}.$$

Daraus ergibt sich die zur Verfügung stehende Gesamtenergie Q_{ges} zu

$$Q_{ges} = Q'_{ges} + Q_{Rück} = 1760000 \text{ [kcal/h]}.$$

Die in den Trockner geblasene Energie:

$$Q_{Tr} = L'_{Tr} \cdot C_{p_m} \left(\begin{array}{l} t_{w_m} \\ t_{G_1} \end{array} (t_{w_m} - t_{G_1}) \right) \text{ [kcal/h]}$$

$$L'_{Tr} = 30000 \text{ [Nm}^3\text{/h]}$$

$$C_{p_m} = 0,314 \text{ [kcal/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C]}$$

$$t_{w_m} = 150^\circ \text{C}$$

$$t_{G_1} = 10^\circ \text{C}$$

$$Q_{Tr} = 1320000 \text{ [kcal/h]}.$$

Davon nutzbar angewandte Energie Q' [kcal/h]

Aufwand zum Verdampfen von ΔW H₂O [kg/h]

$$Q_{\Delta W} = \Delta W \cdot r \text{ [kcal/h]}$$

$$\Delta W = 1660 \text{ [kg/h]}$$

$$r = 591,6 \text{ [kcal/kg]}$$

Verdampfungswärme für die Naßguttemperatur von $t_{G_1} = 10^\circ \text{C}$.

$$Q_{\Delta W} = 980000 \text{ [kcal/h]}.$$

Aufwand zur Erwärmung des Dampfes

$$Q_D = \Delta W \cdot c_D (t'_{G_2} - t_{G_1})$$

$t'_{G_2} = 60^\circ \text{C}$ mittlere Trocknguttemperatur auf dem Rost

$c_D = 0,46$ [kcal/kg, °C] spezifische Wärme des Wasserdampfes

$$Q_D = 38000 \text{ [kcal/h]}.$$

Aufwand zur Erwärmung der Grundstoffmenge und des Restwassers

$$Q_{Rest} \approx 10000 \text{ [kcal/h]}.$$

Somit ergibt sich eine nutzbar angewandte Energie von

$$Q' = 1028000 \text{ [kcal/h]}.$$

Der Wirkungsgrad der Anlage errechnet sich dann zu

$$\eta = \frac{Q'}{Q_{ges}} \cdot 100 = 62,2\%.$$

Der spezifische Wärmeverbrauch errechnet sich zu

$$q = \frac{Q'_{ges}}{\Delta W} \text{ [kcal/kg H}_2\text{O]}$$

$$q = 1000 \text{ [kcal/kg H}_2\text{O]}.$$

Der Gesamtwärmeverlust ergibt

$$Q_{V_{ges}} = Q'_{ges} - Q' \text{ [kcal/h]}$$

$$Q_{V_{ges}} = 622000 \text{ [kcal/h]}.$$

oder in Prozent ausgedrückt

$$Q'_{V_{ges}} = \frac{Q_{V_{ges}}}{Q'_{ges}} \cdot 100 = 37,7\%.$$

Die Verluste unterteilen sich hauptsächlich in Abgas-, Asche- und Abstrahlverluste, die ebenfalls überschlägig ermittelt werden sollen.

Abgasverluste

$$Q_{\text{Abgas}} = Q_{\text{Tr}} - Q' - Q_{\text{Rück}} \text{ [kcal/h]}$$

$$Q_{\text{Abgas}} = 182\,000 \text{ [kcal/h] Brüdenabzug.}$$

Ascheverluste

Bei einem Verbrauch von 600 kg Rohbraunkohle je Stunde fallen laut Aufgabenstellung $G_A = 60$ kg Asche stündlich an. Davon sind 10% unverbrannte Bestandteile.

Somit ergibt sich

$$Q_A = G_u \cdot H_u \text{ [kcal/h]}$$

$$G_u = 6 \text{ [kg/h]}$$

$$H_u = 8000 \text{ [kcal/kg] für Koks}$$

$$Q_A = 48\,000 \text{ [kcal/h].}$$

Als Abstrahlverluste ergeben sich also

$$Q_{\text{Abstr}} = Q_{\text{Vges}} - Q_{\text{Abgas}} - Q_A \text{ [kcal/h]}$$

$$Q_{\text{Abstr}} = 392\,000 \text{ [kcal/h].}$$

Die Schornsteinverluste sind darin enthalten.

5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Nach Informationen aus dem Herstellerwerk ist mit folgenden Investkosten zu rechnen:

Schrägrosttrockner	110 000 DM,
Gebäude	90 000 DM.

Es sind also jährlich an festen Kosten zu verbuchen:

Abschreibung des Trockners und Reparatur	10% = 11 000 DM
Abschreibung des Gebäudes	1% = 900 DM
	11 900 DM

Bringt man diesen Betrag in Beziehung zu den Jahresbetriebsstunden, dann ergibt sich:

Jahresbetriebsstunden	[DM/h]
100	119,00
200	59,50
400	29,75
1000	11,90
2000	5,95

Die beweglichen Kosten setzen sich zusammen aus

Kohleverbrauch 600 kg/h	
100 kg kosten 1,75 DM, einschließlich Transportkosten	10,50 DM/h
Stromverbrauch 40 kW/h	
1 kWh kostet 0,08 DM	3,20 DM/h
Arbeitslöhne: 4 Personen	
durchschnittlich 1,60 DM/h	6,40 DM/h
bewegliche Kosten insgesamt	20,10 DM/h

Laut Aufgabe hat die Anlage 20 dz/h Grüngut getrocknet. Unter Berücksichtigung aller genannten Teilkosten ergeben sich an Gesamtkosten:

Jahresbetriebsstunden	Gesamtkosten DM/dz	
	Grüngut	Trockengut
100	6,95	41,00
200	3,98	23,50
400	2,50	14,75
1000	1,60	9,50
2000	1,30	7,70

Im folgenden Diagramm (Bild 12) wurden diese Werte aufgetragen. Das es üblich ist, die Kosten eines dz Trockengutes anzugeben, wurden diese im Diagramm ebenfalls berücksichtigt.

Man erkennt deutlich, daß der Schrägrosttrockner erst wirtschaftlich wird, wenn er jährlich mindestens 1000 Stunden im Betrieb ist. In dem Berechnungsbeispiel betragen dann die

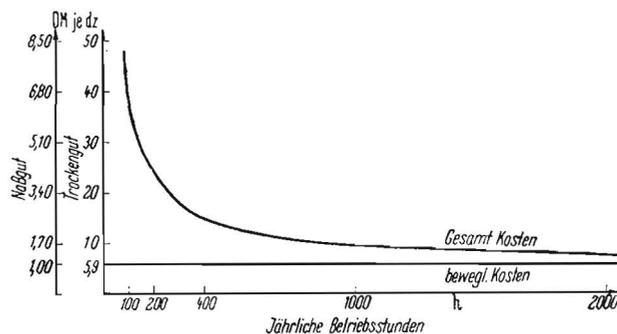


Bild 12. Trocknungskosten beim Schrägrosttrockner (s. Berechnungsbeispiel)

Trocknungskosten für 1 dz Trockengut 9,50 DM und für 1 dz Naßgut 1,60 DM.

6. Zusammenfassung

Die Anlage soll die sonst langdauernde, schwierige oder überhaupt nicht mögliche Trocknung in möglichst kurzer Zeit durchführen, um der Wirtschaft Futter und Nährstoffe zu erhalten.

Die Rentabilität des Schrägrosttrockners steigt mit der jährlichen Betriebsstundenzahl.

Nicht durch die Erhöhung der Eintrittsrauchgastemperatur, die nach oben ohnedies durch die Brandgefahr begrenzt ist, wird der Trocknungseffekt entscheidend beeinflusst, sondern durch die Aufbringung der notwendigen Trocknungsluftmenge. Bei hohen Eintrittstemperaturen sind die Brüdenverluste Q_{Abgas} zu groß.

Um mit der Anlage eine optimale Leistung zu erzielen, müssen folgende Punkte beachtet werden:

1. Luftfeuchtigkeit vor Eintritt in den Trockenraum (abhängig von der Feuchtigkeit der Außenluft, der Rücklauf- und des Brennstoffes);
2. Luftmenge und -temperatur (einstellbar durch Jalousie an der Mischkammer, Drosselklappe im Rücklaufkanal und am Ofenaustritt und Drossel- und Ringschieber im Sogstutzen der Gebläse);
3. fein zerteiltes Trocknungsgut, damit es in kurzer Zeit durch-trocknen kann;
4. richtige Einstellung der Dosierung und des Wendewalzenantriebes, damit die Rauchgase optimal ausgenutzt werden und dadurch die Brüdenverluste möglichst niedrig bleiben, daß die Abgase recht viel Feuchtigkeit aufnehmen und das Trocknungsgut im gewünschten Umfang herabgetrocknet wird;
5. um die jeweils von den Witterungsverhältnissen, der Tageszeit, dem Naßgut usw. abhängige günstigste Einstellung der Anlage zu erhalten, ist eine geschickte Bedienungsperson erforderlich, die den Trocknungsprozeß laufend überwacht.

Die vorhandenen Schrägrosttrockner werden in ihrer Funktion und Wirtschaftlichkeit laufend verbessert. Schon heute können sie in beträchtlichem Umfange dazu beitragen, hochwertiges Futter verlustfrei zu konservieren. Es wäre zu begrüßen, wenn sie bald in größeren Stückzahlen aufgebaut würden.

Literatur

- DUBBEL: Taschenbuch für den Maschinenbau.
 FALTIN: Technische Wärmelehre.
 GOMOLL: Kraftfutter aus eigenem Boden durch künstliche Grünfütter-trocknung. Deutsche Agrartechnik (1955) H. 8, S. 297 bis 303.
 Prüfberichte des Instituts für Landtechnik Potsdam-Bornim. VDI-Wasser-dampftafeln.