

Die Energiekosten der Getreidetrocknung in der Landwirtschaft der DDR*)

Der umfassende Einsatz der Mähdrescher für die Getreideernte bringt neben seinen unbestrittenen Vorteilen den Nachteil der höheren Feuchte des Getreides mit sich, das Getreide ist lagerungsunfähig. Daher ist eine Trocknung erforderlich, die im zunehmenden Maße an Bedeutung gewinnt, je mehr Mähdrescher arbeiten. In der DDR trifft dies nach dem allseitigen Zusammenschluß zu LPG in verstärkter Form zu.

Als Verfahren wird im allgemeinen die Verdunstungstrocknung mit erwärmter Luft, ganz selten die Vakuumtrocknung angewendet. Die aufzuwendende Wärmemenge ist immerhin beträchtlich, wenn man sich vorstellt, daß im Jahre 1958 ein Ernteertrag in der DDR von $\approx 6 \cdot 10^6$ t/Jahr zu verzeichnen war. Wird mit einer zu trocknenden Menge von $2 \cdot 10^6$ t/Jahr von $f_1 = 18\%$ auf $f_2 = 14\%$ gerechnet, dann ermittelt sich ein Wärmebedarf zu $Q = 110400$ Gcal/Jahr¹⁾, wenn ein günstiger spezifischer Wärmeverbrauch der Getreidetrocknungsanlagen mit $q = 1200$ kcal/kg H₂O angenommen wird. Veranschaulicht man sich diese Wärmemenge, so erscheint es doch sinnvoll, Untersuchungen über den zweckmäßigsten Einsatz der Energiequellen durchzuführen.

Zum anderen ist es vorteilhaft, beim Bau von neuen Trocknungsanlagen auf Grund vorhandener Zahlenangaben über die Kosten eine Vorwahl der geeigneten Trocknergröße vorzunehmen. Um allgemeine und umfassende Angaben zu machen, muß man einmal Vernachlässigungen treffen, zum anderen bestimmte Voraussetzungen annehmen. Es soll daher an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß die Kosten in dieser Arbeit nur überschläglich berechnet sind und für jede Anlage entsprechend den speziellen Bedingungen verschieden sein können. Trotzdem ist es möglich, einwandfreie qualitative Schlußfolgerungen über Größe, Energiequelle sowie den wirtschaftlichen Einsatzbereich zu ziehen.

Kostenbildung

Bei der Kostenbildung unterscheidet man grundsätzlich zwei Kostengruppen:

- a) die festen Kosten, die von den Betriebsverhältnissen unabhängig sind und nur eine Funktion der jährlichen Benutzungsdauer darstellen,
- b) die veränderlichen Kosten, deren Größe von der Belastung, vom Betrieb abhängen.

Die festen Kosten sind ausschließlich eine Funktion der Anschaffungskosten P [DM] und des Jahresfestkostensatzes z [DM/DM · a]²⁾. Der Jahresfestkostensatz z ist die Summe verschiedener Anteile, die im folgenden beschrieben werden:

- 1. Der Abschreibungssatz z_a beträgt in der Berechnung $0,05$ DM/DM · a für landwirtschaftliche Maschinen. Seine Größe ist im Sonderheft 7 der Deutschen Finanzwirtschaft „Finanzbuchhaltung, Kostenrechnung, Abschluß“, herausgegeben 1951, staatlicherseits festgelegt. Diese Größe bedeutet, daß die Anschaffungskosten innerhalb von 20 Jahren abgeschrieben sind, und daß das Geld für eine Neuanschaffung zur Verfügung steht.

*) Mitteilung aus dem Institut für Energiewirtschaft der Technischen Hochschule Dresden (Direktor: Prof. Dr.-Ing. N. ELSNER). Auszug aus dem Forschungsbericht Plan-Nr. 215796/0-02/9. TH Dresden [6].

¹⁾ 1 Gcal (Gigakalorie) = 10^6 kcal.

²⁾ a = Jahr

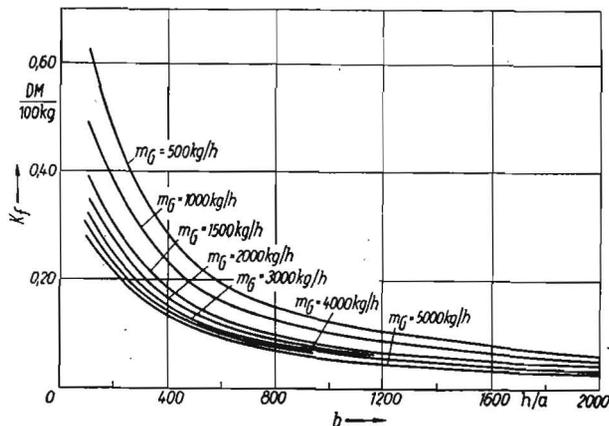
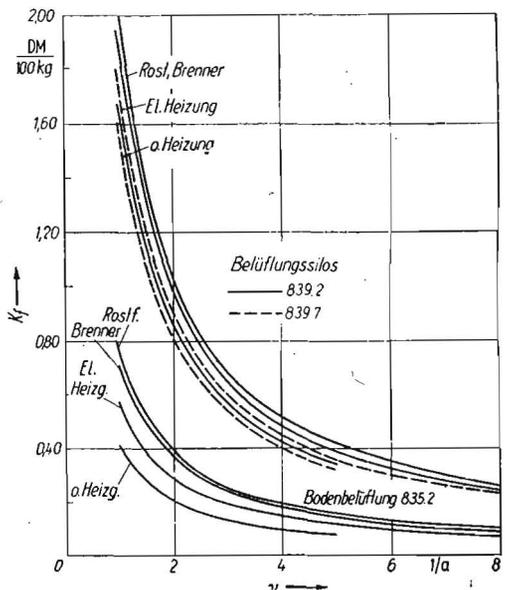


Bild 1 Feste Kosten für Warmlufttrocknungsanlagen

Bild 2 Feste Kosten für Belüftungstrocknungsanlagen



- 2. z_r ist ein mittlerer Betrag, der für auftretende Reparaturen während des Jahres bereitgestellt wird. Er soll im Mittel mit $0,015$ DM/DM · a angenommen werden.
- 3. Im kapitalistischen Wirtschaftssystem wird noch der Faktor z_z berücksichtigt. z_z wird so gewählt, daß ein äquivalenter Betrag für die Zinsen bereitsteht, die das Anschaffungskapital auf einer Bank als Kapitaleinlage eingebracht hätte. Dieser Zinsfaktor entfällt in der sozialistischen Wirtschaft, jedoch scheint auch hier eine gleichwertige Größe berechtigt, wie sie STIEPER bereits in seiner Dissertation einführt [1]. Er bezeichnete sie als Rückflußdauer.
- 4. Außerdem wäre noch ein Anteil zu erwähnen, der sich aus anteiligen Verwaltungskosten, allgemeinen Kosten usw. zusammensetzt. Ihn zu erfassen ist nur individuell für einzelne Anlagen möglich. Er wird daher vernachlässigt.

Demnach berechnen sich die festen Kosten zu

$$K_f = \sum z_i \cdot P \left[\frac{\text{DM}}{a} \right] \quad (1)$$

Die veränderlichen Kosten sind eine Funktion der jährlichen Betriebszeit T [h/a] und der Betriebsverhältnisse. Die Größe T hat einen Nachteil, da bei Teilbelastung der Energieverbrauch sinkt, und damit ist eine wirkliche Kostenermittlung unmöglich. Unter Einführung des Belastungsgrades $\beta = \frac{N_m}{N_{\text{max}}}$ läßt sich die Benutzungsdauer

$b = \beta \cdot T$ [h/a] definieren. Sie stellt die Zeit dar, die eine Anlage jährlich bei Vollast arbeiten müßte und kann somit als reale Vergleichsgröße herangezogen werden. Daraus ergibt sich

$$K_v = m \cdot b \left[\frac{\text{DM}}{a} \right], \quad (2)$$

wobei m ein Proportionalitätsfaktor ist, der Energie- und Lohnkosten in DM/h ausdrückt.

Die Gesamtkosten betragen dann

$$K_g = \frac{\sum z_i \cdot P}{b} + m \left[\frac{\text{DM}}{h} \right] \quad (3)$$

Wünscht man spezifische Größen anzugeben, so ist durch die Trocknerkapazität zu dividieren, und es gilt

$$K_g = \left(\frac{\sum z_i \cdot P}{b} + m \right) \cdot \frac{100}{m_G} \left[\frac{\text{DM}}{100 \text{ kg}} \right] \quad (4)$$

Trockenverfahren

Zur Trocknung des Getreides werden die zwei bekannten Verfahren angewendet:

- 1. die Warmlufttrocknung,
- 2. die Belüftungstrocknung mit und ohne Zusatzbeheizung.

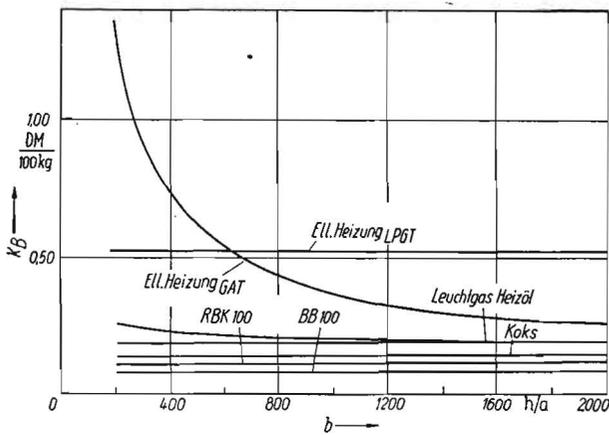


Bild 3 (links).
Brennstoffkosten
für $m_G = 500 \text{ kg/h}$

Die Lufterwärmung erfolgt direkt oder indirekt, d. h. das Trockenmedium stellt ein Rauchgasluftgemisch dar, bzw. es ist im Lufterhitzer erwärmte Luft. Beide Systeme können für beide Trocknungsarten angewendet werden, nur die Leistungsunterschiede der Lufterhitzer sind beträchtlich. Als Energiequellen stehen feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe und auch die Elektrizität zur Verfügung, deren allseitiger Einsatz jedoch infolge begrenzter Kontingente nicht immer möglich ist, obwohl eine Anwendung nach den gültigen Preisen und Tarifen in der DDR mitunter wirtschaftlich empfehlenswert wäre.

Berechnung der Kosten

Zur Berechnung der festen Kosten müssen die Anschaffungspreise der Trocknungsanlage ermittelt werden. Für Anlagen der Warmlufttrocknung werden Durchschnittswerte für den Trockner (Trocknersäule, Lufterhitzer, Gebläse, Rohrleitungen) nach den Preislisten des VEB Speicher- und Mälzereibau Erfurt und westdeutscher Firmen [2] angenommen, denen aber noch die Kosten für Beschickungseinrichtungen und für Fracht, Montage und Installation sowie die Kosten für eine Reinigungsmaschine und eventuelle Behälter sowie bauliche Veränderungen hinzuzufügen sind. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß zunächst Anlagen des VEB Petkus in Wutha unberücksichtigt bleiben mußten, da die Preise vollkommen aus der üblichen Kalkulation herausfallen und infolge der großen jährlichen Stückzahl des Betriebes weitaus darunter liegen. Die somit entstehenden unterschiedlichen Gesamtkosten sollen später diskutiert werden.

Bei der Belüftungstrocknung setzen sich die Anschaffungskosten aus den Kosten für das Gebläse, den Lufterhitzer, den Behälter und das Luftverteilungssystem und eventuell aus den Kosten für die Beschickungseinrichtung zusammen. In der DDR wird allerdings nur eine Bodenbelüftungsanlage Typ 835.2 des VEB Petkus Wutha mit $F = 80 \text{ m}^2$ und einer zulässigen Lagerhöhe von $h = 1 \text{ m}$ und zwei Belüftungssilos der gleichen Firma Typ 839.2 bzw. 839.7 mit ≈ 30 und 40 m^3 Inhalt gebaut, deren Gebläse für einen statischen Druck von $p = 60 \text{ mm WS}$ ausgelegt sind.

Mit Hilfe des Jahresfestkostensatzes

$$z = z_a + z_r = 0,05 + 0,015 = 0,065 \text{ DM/DM} \cdot a$$

ermitteln sich die festen Kosten in DM/a bzw. die spezifischen Kosten in Abhängigkeit vom Getreidedurchsatz m_G in DM/100 kg feuchtes Getreide. (Die Rückflußdauer muß unberücksichtigt bleiben, da staatlicherseits bisher keinerlei Angaben gemacht wurden.)

Die Ergebnisse in Bild 1 und 2 sind eindeutig. Je geringer die Benutzungsdauer bzw. die Zahl der Beschickungen je Jahr, um so höher sind die spezifischen Trocknungskosten, da der Anteil z_a die Kosten sehr stark beeinflusst. Außerdem sind bei der Warmlufttrocknung die Kosten um so größer, je kleiner die Kapazität ist, denn das Anschaffungskapital je 1 t/h wächst mit kleiner werdender Leistung. Es ist daher stets nach einer hohen Benutzungsdauer und einer großen Trocknungsanlage zu streben. Die höheren Kosten der Siloanlagen beruhen auf dem größeren Anschaffungspreis.

Die veränderlichen Kosten setzen sich aus den Brennstoff-, Gebläse- und Lohnkosten zusammen

$$K_v = K_B + K_{VE} + K_L \left[\frac{\text{DM}}{100 \text{ kg}} \right] \quad (5)$$

Zur Bestimmung von K_B für die Warmlufttrocknung ist der erforderliche Wärmebedarf für die Trocknung des Getreides zu ermitteln.

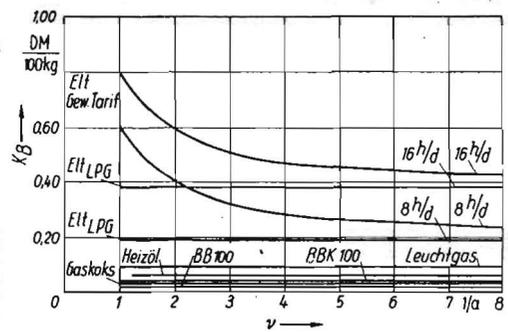


Bild 4 (rechts).
Brennstoffkosten
für Belüftungstrocknungsanlagen
 $\Delta t = 4^\circ\text{C}$, $\tau = 8$
bzw. 16 h/d

Der Wärmebedarf

Das im Getreide gebundene Wasser wird bei der zulässigen Getreidetemperatur t_G verdunstet. Dazu müssen aufgebracht werden: die Verdampfungswärme für das frei gebundene Wasser, die Bindungswärme des Wassers und die zur Erwärmung des Gutes von Umgebungstemperatur auf Trockentemperatur erforderliche Wärmemenge. Damit wird der gesamte Wärmehaufwand

$$Q_{th} = m_G \cdot c_G (t_G - t_0) + m_T \cdot R_b + m_W \cdot r \quad (6)$$

c_G spezifische Wärme des Getreides

R_b partielle Bindungswärme

r Verdampfungswärme bei Guttemperatur

Der tatsächliche Wärmebedarf Q ist weitaus höher als der theoretisch bestimmte Q_{th} , da verschiedene Verluste auftreten, die durchaus gleich der theoretisch notwendigen Wärmemenge sein können. Im wesentlichen sind es vier:

1. der Verlust durch die fühlbare Wärme der Abluft,
2. der Verlust durch die Getreideabwärme,
3. die Verluste infolge Leitung und Strahlung,
4. die Feuerungsverluste.

Unterscheidet man zwischen direkter und indirekter Lufterwärmung so erkennt man, daß der fühlbare Wärmeverlust durch die Abgase bei der indirekten Lufterwärmung sehr beträchtlich ist und bis zu etwa 30% der Gesamtwärme ausmacht, während bei der direkten Lufterwärmung die Abgase als Trockenmedium verwendet werden und somit nicht als Verlust in Erscheinung treten. Die weitere Berechnung wird nur für die indirekte Erwärmungsmethode durchgeführt.

Der Wärmepreis

Um die Kosten bestimmen zu können, ist die Kenntnis der Brennstoffpreise und Energietarife notwendig (PVO Nr. 282 vom 19. Dez. 1952 bzw. besondere Preisbewilligungen, PVO Nr. 281 vom 31. Dez. 1952 und Zusatzbestimmungen nach Gesetzblatt 114 vom 31. Okt. 1953).

Da ein Kostenvergleich durchgeführt werden soll, wurde als Vergleichsgröße der Wärmepreis P der einzelnen Energiequellen eingeführt.

Mit Hilfe des tatsächlichen Wärmebedarfs Q und der Wärmepreise lassen sich dann in Abhängigkeit von der Benutzungsdauer die Brennstoffkosten mit der nachstehenden Beziehung ermitteln.

$$K_B = \frac{p \cdot Q \cdot 100}{m_G} \left[\frac{\text{DM}}{100 \text{ kg}} \right] \quad (7)$$

Da eine Vielfalt von Möglichkeiten infolge der Variation der Trocknergrößen und der Brennstoffe vorhanden ist, sollen die Brennstoffkosten in Bild 3 nur für $m_G = 500 \text{ kg/h}$ dargestellt werden. Es ist erklärlich, daß die spezifischen Kosten für große Leistungen bei festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen geringfügig kleiner sind, weil die spezifischen Verluste durch Strahlung, Leitung und Konvektion geringer sind. Wegen der hohen Kosten der elektrischen Heizung ist eine elektrische Anwärkung bei der Warmlufttrocknung abzulehnen.

Die für die Belüftungstrocknung notwendigen Luftmengen betragen im Falle der Bodenbelüftung $V_L = 300 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$ und bei der Silobelüftung $V_L = 400 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$ [3]. Eine Erwärmung der Luft erfolgt nur dann, wenn auf Grund des hygroskopischen Gleichgewichtes die Lufttemperatur und damit die relative Feuchte so gering sind, daß keine Trocknung zu erreichen ist. Dabei genügt allerdings eine Temperaturerhöhung um ≈ 3 bis 5°C , um eine relative Luftfeuchte von $\varphi = 65\%$ zu erzielen, die ausreicht, Getreide bis auf $f = 14\%$ herabzutrocknen. Sind die klimatischen Bedingungen so günstig, daß ausschließlich in den Nachtstunden eine Luftanwärkung notwendig erscheint, dann ist der Wärmebedarf entsprechend gering.

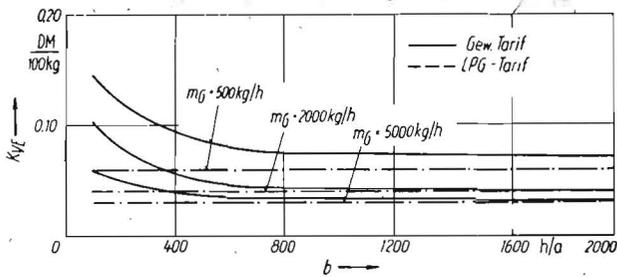


Bild 5. Gebläsekosten für die Warmlufttrocknung

Als weiterer beeinflussender Faktor ist noch die Getreidefeuchtigkeit entscheidend, die entweder eine größere Anwärmzeit oder eine längere Belüftungszeit erfordert. Beide Möglichkeiten zu variieren, würde im Rahmen dieser Arbeit zu weit führen, es sollen daher nur folgende Annahmen getroffen werden:

1. die zu entziehende Getreidefeuchte $\Delta f = 4\%$,
2. die tägliche Anwärmzeit beträgt a) 8 h/d; b) 16 h/d.

Man kann auch hier alle möglichen Brennstoffe untersuchen und ihren Einsatz prüfen. Dabei zeigt sich eindeutig der geringe Betrag im Vergleich zur Warmlufttrocknung infolge des kleineren Wärmebedarfs. Die elektrische Heizung erscheint auch in diesen Fällen als die teuerste Energiequelle. Ihr Einsatz in Betrieben, die nach dem gewerblichen Tarif verrechnet werden, ist immerhin vier- bis sechsfach so teuer, je nachdem ob der Einsatz 16 bzw. 8 h/d durchgeführt wird (Bild 4).

Zur Berechnung der Gebläsekosten dient die folgende Beziehung

$$K_{VE} = \frac{p_{kIVh} \cdot N}{m_G} \cdot 100 \left[\frac{DM}{100 \text{ kg}} \right] \quad (8)$$

Die installierten Leistungen gleicher Trocknergrößen sind sehr unterschiedlich, so daß aus den zur Verfügung stehenden Unterlagen keine gesetzmäßige Leistungszunahme mit wachsender Trocknerleistung festzustellen war. Als Grundlage der weiteren Kostenberechnung wurden die in der Promotionsarbeit von BUNGARTZ [4] angegebenen Werte gewählt, da diese auf umfangreichen Versuchen an Getreidetrocknern basieren.

In der weiteren Berechnung ist der verschiedene Standort der Trocknungsanlagen zu beachten, wie z. B. LPG, BHG oder VEG, da jeweils ein anderer Stromtarif gültig ist.

In Bild 5 sind in Abhängigkeit von der Benutzungsdauer, der Trocknerleistung und des Stromtarifs die Kosten aufgetragen. Der Kurvenverlauf zeigt eindeutig kleinere spezifische Kosten für größere Anlagen, jedoch sind die Kostendifferenzen sehr gering.

Die Größe der Gebläsekosten für die Belüftungstrocknung hängt hauptsächlich von drei Faktoren ab:

1. der Leistungsaufnahme des Antriebsmotors,
2. der Einlagerungsfeuchtigkeit des Getreides,
3. dem Stromtarif.

Solche Einflüsse, die durch Klimawerte, verschiedene Getreidearten, unterschiedliche Getreideschütthöhen bzw. durch Getreide verschiedener Einlagerungsfeuchtigkeit auftreten, sollen infolge der Vielfältigkeit der Variationsmöglichkeiten unberücksichtigt bleiben, da kein befriedigendes Ergebnis bei der praktischen Auswertung zu

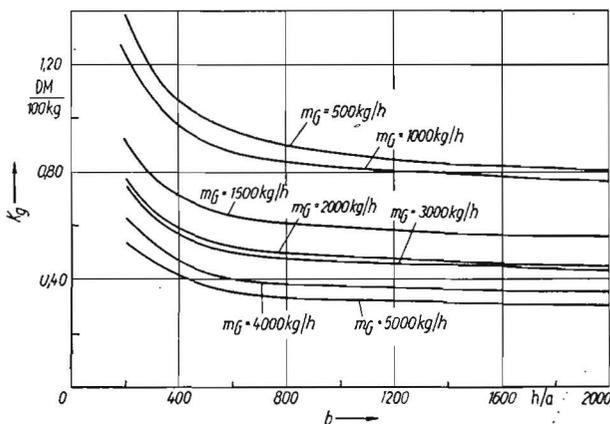


Bild 7. Gesamtkosten der Warmlufttrocknung für Braunkohlenbriketts ($s = 100 \text{ km}$)

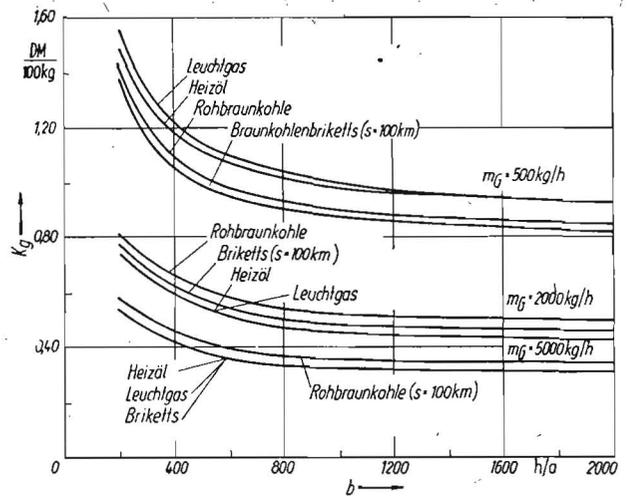


Bild 8. Gesamtkosten der Warmlufttrocknung für verschiedene Brennstoffe und Trocknerleistungen

erwarten ist. Als Daten der Leistungsaufnahme des Gebläsemotors wurden die von KÄMMERLING [5] und WENNER [3] übernommen, die auf umfangreichen Versuchen beruhen.

Ist die Anlage so ausgelegt, daß bei einer Einlagerungsfeuchtigkeit von $f = 22\%$ das Getreide verderbnisfrei getrocknet werden kann, so wird bei $f = 18\%$ eine kürzere Zeit beansprucht, die Trocknungskosten werden geringer. Falls jedoch das Getreide eine größere Feuchtigkeit besitzt, dann ist die zu entziehende Feuchtigkeit bei einer festgelegten Luftmenge und einer größten Schütthöhe nicht mehr in der vorgeschriebenen Zeit zu verdunsten. Das Getreide verdirbt. Bei Bodenbelüftungsanlagen kann man sich helfen, indem eine geringere Lagerhöhe gewählt wird, wodurch sich der statische Druck verringert und einer größeren Luftmenge und damit einer höheren Trocknungsgeschwindigkeit gleichzusetzen ist. Da bei waagerechter Luftführung in Zentralrohrsilos durch eine kleinere Füllung infolge der dadurch zunehmenden Windgeschwindigkeit auch der statische Druck anwächst, und damit eine Verringerung der Luftmenge eintritt, wählt man gleich bei der Konstruktion eine Luftmenge von $V_L = 400 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3$. Bei der weiteren Kostenberechnung werden folgende Annahmen getroffen:

1. es werden ausschließlich die Kosten für die drei bereits beschriebenen Anlagen ermittelt.
2. die Einlagerungsfeuchte beträgt $f_1 = 18\%$,
3. als Stromtarif werden der für LPG und Gewerbeabnehmer angenommen,
4. für die Bodenbelüftungsanlage ist die Schütthöhe $h = 1 \text{ m} \cong 30 \text{ mm WS}$, für die Zentralrohrsilos ist $h_{stat} = 60 \text{ mm WS}$.

Die Anlagen erfordern eine Bedienung und Überwachung. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei Rostfeuerungen mehr Arbeitskräfte notwendig waren als bei Luftherzern, die mit Heizöl, Leuchtgas bzw. mit elektrischem Strom betrieben wurden. Für Rostfeuerungen werden folgende Annahmen getroffen:

- $m_G = 500 \text{ kg/h} = 1 \text{ AK}$
- $m_G = 1000 \text{ bis } 2000 \text{ kg/h} = 2 \text{ AK}$
- $m_G = 3000 \text{ bis } 5000 \text{ kg/h} = 3 \text{ AK}$

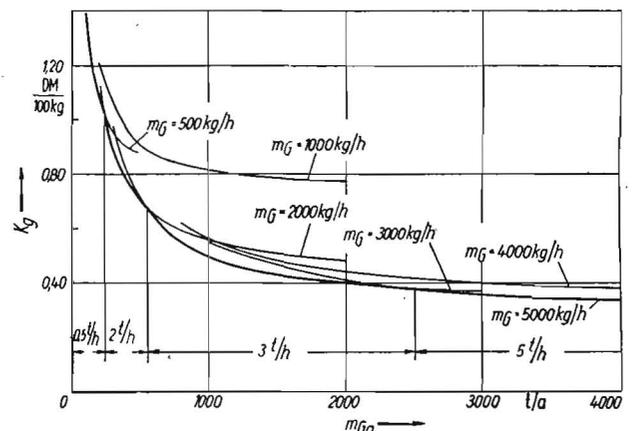


Bild 8. Gesamtkosten der Warmlufttrocknung als Funktion der jährlich zu trocknenden Getreidemenge

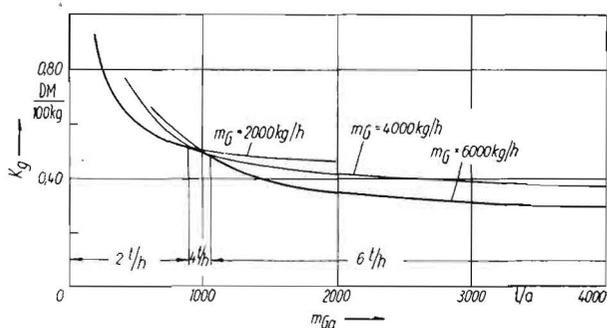


Bild 9. Gesamtkosten der Warmlufttrocknung unter Zugrundelegung der Anlagenpreise des VEB Petkus Wutha

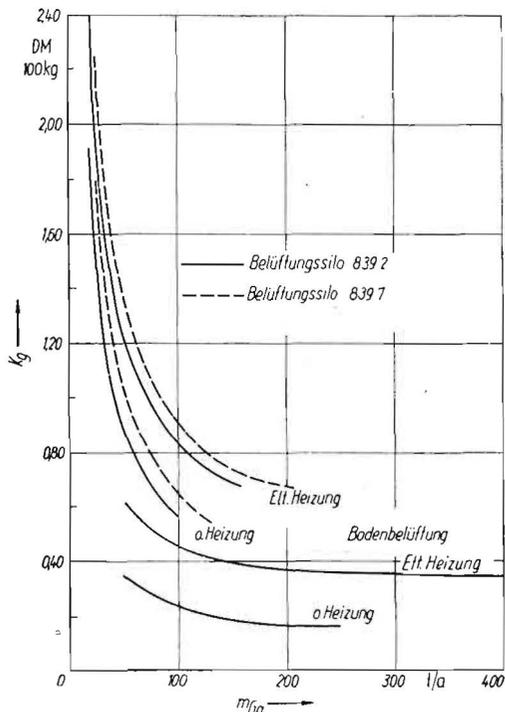


Bild 10. Gesamtkosten der Belüftungstrocknung als Funktion der jährlich zu trocknenden Getreidemenge

Bei allen anderen Energiequellen ist unabhängig von der Kapazität $n = 1$ AK gewählt.

Belüftungstrocknungsanlagen benötigen dagegen einen geringen Bedienungsanfang, so daß eine nominelle Erfassung der Lohnkosten sehr schwierig ist und daher vernachlässigt werden soll.

Nimmt man einen Stundenlohn $p_L = 3,00$ DM/AK · h an, so lassen sich die Lohnkosten nach Gleichung (9) berechnen.

$$K_L = \frac{n \cdot p_L}{m_G} \cdot 100 \left[\frac{\text{DM}}{100 \text{ kg}} \right] \quad (9)$$

In Bild 6 sind die Gesamtkosten für Trocknerleistungen von $m_G = 500, 2000, 5000$ kg/h als Funktion der Benutzungsdauer b [h/a] dargestellt. Die Ermittlung erfolgte für verschiedene Brennstoffe, wie Heizöl, Leuchtgas, Braunkohlenbriketts und Rohbraunkohle als Energiequelle, wobei in den festen Brennstoffen eine mittlere Transportweite von $s = 100$ km vom Erzeugungszum Verbrauchsort zugrunde gelegt ist. Vergleicht man die Kurven der verschiedenen Trocknerkapazitäten, so lassen sich keine Gesetzmäßigkeiten erkennen, inwieweit einer Energiequelle der Vorzug zu geben ist. Um dieses Bild zu erklären, sind die Einflüsse zu analysieren. Vergleicht man die festen Kosten des Bildes 1, so erkennt man ihren Anteil von $\approx 50\%$ an den Gesamtkosten. Sie sind um so kleiner, je größer die Anlage ist. Der andere Summand sind die veränderlichen Kosten, die sich aus den drei Teilen der Betriebskosten zusammensetzen. Dabei sind die Kosten für den E-Motorenantrieb geringfügig und vom Brennstoff unabhängig, während die Brennstoff- und auch die Lohnkosten von der Heizquelle abhängen. Eine Gegenüberstellung ergibt den großen Einfluß der Lohnkosten. Für $m_G = 500$ kg/h wird jeweils eine Arbeitskraft eingesetzt, und es ist deutlich zu erkennen, daß der kleinere Wärmepreis der festen Brennstoffe deren Gesamt-

kosten begünstigt und als vorteilhaft erscheinen läßt. Werden allerdings bei der Trocknerleistung von $m_G = 2000$ bzw. 5000 kg/h zwei bzw. drei Arbeitskräfte eingesetzt, zeigt sich der wirtschaftlichere Einsatz von Heizöl bzw. Leuchtgas.

Bild 7 zeigt die Gesamtkosten für verschiedene Trocknerkapazitäten, wenn Braunkohlenbriketts als Energiequelle gewählt sind. Als interessantestes Ergebnis ist auch hier der große Einfluß der Lohnkosten festzustellen, den man beim Vergleich von $m_G = 500$ mit 1000 kg/h sowie $m_G = 2000$ mit 3000 kg/h erkennt, da für Leistungen von 1000 bis 2000 kg/h zwei und für 3000 kg/h und größer drei Arbeitskräfte vorgesehen sind, so daß nur eine geringe Kostendifferenz auftritt. Außerdem sollte mit dieser Abbildung nochmals klar gestellt werden, daß die spezifischen Gesamtkosten kleiner Anlagen erheblich größer sind. Jedoch darf man nicht den gefährlichen Trugschluß ziehen und die Forderung nach größten Kapazitäten stellen, da ja deren Gesamtkosten kleiner sind, und sie demnach wirtschaftlicher arbeiten. Man muß die funktionelle Abhängigkeit der Kosten von der jährlichen Benutzungsdauer und damit auch der jährlich zu trocknenden Getreidemenge beachten.

Es ist daher günstig, die Kosten in Abhängigkeit von m_{Ga} [t/a] darzustellen, um die Einsatzmöglichkeiten genau begrenzen zu können und Wirtschaftlichkeitsbereiche für die einzelnen Trocknergrößen zu bezeichnen. Stellt man für eine beliebige Getreidemenge, z. B. von $m_{Ga} = 1000$ t/a die Kosten gegenüber, die beim Einsatz verschiedener Trockner entstehen, so läßt sich ein Kostenoptimum (Tabelle 1) für $m_G = 3000$ kg/h und $b = 333$ h/a zeigen, da kleine

Tabelle 1. Gesamtkosten bei einer jährlich zu trocknenden Getreidemenge von $m_{Ga} = 1000$ t/a

m_G	500	1000	2000	3000	4000	5000 kg/h
K_G	0,81	0,81	0,56	0,49	0,54	0,56 DM/100 kg
b	2000	1000	500	333	250	200 h/a

Trocknergrößen genau so hohe Kosten mit sich bringen wie eine geringe Benutzungsdauer großer Anlagen. Um für jede beliebige jährliche Getreidemenge das Kostenminimum zu bestimmen, wären Rechnungen dieser Art notwendig. Dies ist graphisch weitaus günstiger zu lösen. In Bild 8 stellt die stark gezeichnete einhüllende Kurve des Kostenoptimums bei den vorausgesetzten Anlagekosten und gewählten Annahmen dar. Es ist bei der Festlegung der Trocknerbereiche zu erkennen, daß ein Einsatz von Trocknern mit Leistungen $m_G = 1$ t/h bzw. 4 t/h unökonomisch ist, da deren spezifische Kosten höher als die anderer Anlagen sind. Die Einsatzbereiche sind wie folgt festgelegt:

- $m_G = 500$ kg/h : $m_{Ga} \leq 250$ t/a $b \leq 500$ h/a
- $m_G = 2000$ kg/h : $m_{Ga} = 250$ bis 550 t/a $b = 125$ bis 175 h/a
- $m_G = 3000$ kg/h : $m_{Ga} = 550$ bis 2500 t/a $b = 183$ bis 833 h/a
- $m_G = 5000$ kg/h : $m_{Ga} \geq 2500$ t/a $b \geq 500$ h/a

Sind diese Benutzungsdauern nicht zu erreichen, dann muß zu einem größeren Trockner übergegangen werden, wenn dann auch höhere Kosten zu erwarten sind.

Gleiche Betrachtungen lassen sich auch für Trockner des VEB Petkus in Wutha anstellen, deren Anlagenpreise sich wesentlich von denen der allgemeinen Kalkulation unterscheiden. In Bild 9 erkennt man, daß der 4-t-Trockner nur innerhalb eines sehr kleinen Anwendungsbereichs optimal arbeitet. Es ist daher sinnvoll, zu einer Trocknerleistung von $m_G = 6$ t/h überzugehen.

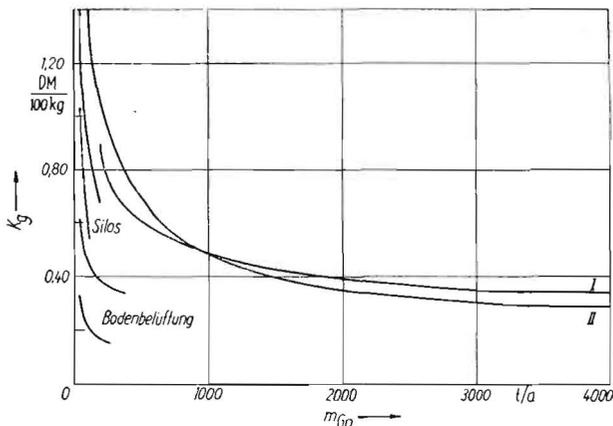


Bild 11. Gegenüberstellung der Gesamtkosten der Warmluft- und Belüftungstrocknung als Funktion der jährlich zu trocknenden Getreidemenge

Ähnliche Überlegungen sind auch bei der Belüftungstrocknung durchführbar. Bild 10 zeigt sehr anschaulich die Kostensenkung bei einer erhöhten Zahl der Beschickungen im Jahr, die mit Zusatzbeheizung $v = 8$ Beschickungen/a betragen kann. Dies ist in dem hohen Anschaffungspreis der Anlagen und den geringen Bedienungskosten zu sehen. Man kann aus Bild 10 den vorteilhaften Einsatz der Bodenbelüftungsanlage Typ 835.2 herauslesen. Dies ist jedoch nur eingeschränkt gültig, da einmal beim Neubau solcher Anlagen die Gebäudekosten je m^3 umbauten Raumes für Bodenbelüftungsanlagen etwa doppelt so hoch sein werden als bei Silos, und außerdem ist der Bedienungsaufwand beim Füllen und Entleeren von Bodenanlagen größer. Das würde bedeuten, daß bei einer Einzelkalkulation die Gesamtkosten sich eventuell angleichen und daß der Einsatz entsprechend den örtlichen Verhältnissen vorzunehmen ist.

In Bild 11 sind die Gesamtkosten der beiden Trockenverfahren gegenübergestellt. Für jährlich zu trocknende Getreidemengen bis $m_{Ga} = 500$ t/a kann der Einsatz der Belüftungstrocknung herangezogen werden, da durchaus geringere Trocknungskosten zu erwarten sind, auch dann noch, wenn die anteiligen Gebäudekosten zu berücksichtigen sind. Die Warmlufttrocknung ist und wird stets für große Getreidemengen einzusetzen sein (I). Ein Vergleich der entstehenden Kosten, die mit den Anlagenpreisen von VEB Petkus errechnet wurden (II), zeigt geringere Gesamtkosten, wie auch zu erwarten war.

Zum Beitrag „Zentralrohrsilospeicher auch für Groß-LPG?“ in Heft 12/1960

Für Groß-LPG stellen HUTSCHENREUTHER und HARTUNG den Bau von Zentralrohrsilospeichern für die Aufbereitung und Lagerung von Saatgut und Konsumgetreide zur Aussprache. Demgegenüber stehen die richtigen Bestrebungen unserer Volkswirtschaft zur Konzentration und Spezialisierung der Produktion, die bedeutende volkswirtschaftliche Vorteile beinhalten.

So richten die Deutschen Saatgut-Handelsbetriebe ihr Programm des Speicherneubaus und der Rekonstruktion vorhandener alter Saatgutspeicher [1] auf die in ihrem Einzugsbereich zu erfassende Gesamtmenge an Saatware hoher Stufen aus. Bei den VEAB ist ein umfangreiches Silobauprogramm angelaufen, das es in Zukunft immer besser ermöglicht, die gesamte Menge an Konsumgetreide zentral zu erfassen und zu lagern. Dabei ist es möglich, modernste, vollmechanisierte und mit einer hohen Aufbereitungskapazität ausgestattete Anlagen mit einem Fassungsvermögen von 1500 bis zu



Bild 1. Zentralrohrsilos-Anlage für die Annahme und teilweise Trocknung von Getreide in Verbindung mit einem alten Speicher

50000 t (VEAB) zu errichten. (Im Ausland bestehen noch weitaus größere zentrale Siloanlagen.) Die DSG-HB sollen für unsere Landwirtschaft bestes Saatgut höchster Qualität bereitstellen, wozu alle Voraussetzungen geschaffen werden können und qualifiziertes Fachpersonal zur Verfügung stehen muß.

Der Vorschlag, jede LPG über 2000 ha LN mit einem eigenen Speicher auch für die Aufbereitung von Saatgut auszustatten, steht also dann im Widerspruch zur geplanten Spezialisierung und Konzentration, wenn sich die Aufbereitung nicht nur auf die Absaatenerzeugung beschränkt.

Dazu ist aber der von HUTSCHENREUTHER und HARTUNG vorgeschlagene Speicher einschließlich der Aufbereitung von Konsumware zu groß. Er entspricht einer maximalen Einlagerungsmenge der Ernte einer Anbaufläche von etwa 500 ha, das dürften über 50%

Zusammenfassung

Diese Arbeit verfolgt den Zweck, ein Berechnungsschema vorzuschlagen, wie in jedem Fall für jede beliebige Energiequelle, für verschiedene Einlagerungsfeuchten des Getreides, für wechselnde Umgebungszustände, für verschiedene Anlagekosten die Gesamtbestimmungen zu ermitteln sind und die Wirtschaftlichkeit einer Anlage bestimmt wird. Nach Annahme von Voraussetzungen ist es möglich, optimale Bereiche für die jeweilige Trocknerkapazität festzulegen und damit wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten anzugeben.

Literatur

- [1] STIEPER: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zur Wärmeübertragung zwischen mehreren Strömen. Dissertation TH Dresden 1960.
- [2] BUNGARTZ: Die Getreidetrocknung im gewerblichen Betrieb. Berichte über Landtechnik Nr. 54 Frankfurt/Main 1958.
- [3] WENNER: Die Voraussetzungen für die Lagerung von feuchtem, geretem Getreide. Berichte über Landtechnik Nr. 45 Frankfurt/Main 1955.
- [4] BUNGARTZ: Die Getreidetrocknung im gewerblichen Betrieb. Dissertation TU Bonn 1957.
- [5] KÄMMERLING: Kosten der Getreidelagerung und -trocknung im landwirtschaftlichen Betrieb. Berichte über Landtechnik Nr. 55 Frankfurt/Main 1958.
- [6] KEINER: Energiequellen für die Trocknung in der Landwirtschaft. Forschungsbericht; Plan-Nr. 215796/0-02/9. TH Dresden.

A 4277

der Getreide- und Hülsenfruchtfläche des untersuchten Landwirtschaftsbetriebes sein. Dabei steht noch in Frage, welche LPG unter unseren Bedingungen wohl 317 t Körnermais erntet. Die Körnermaisernte, Aufbereitung und Lagerung bedarf Spezialanlagen, die nur bei hoher Konzentration wirtschaftlich sind.

Die Lagerungskapazität des vorgeschlagenen Speichers mit 1500 t entspricht wohl kaum noch dem Eigenbedarf der LPG an Futter-, Brot- und Saatgetreide. Der berechnete Umschlag von 2197t läßt erkennen, daß fast die Gesamtmenge der Ernte an Körnerfrüchten dieser LPG im Speicher aufbereitet und dann wahrscheinlich an VEAB und DSG-HB geliefert werden soll.

Da in den VEAB auch große zentrale Kraftfuttermittelwerke in Verbindung mit den neuen Speichern errichtet werden, von denen in Zukunft die Landwirtschaft unserer Republik zentral versorgt wird, erscheint es uns unter Berücksichtigung des bisher Gesagten richtiger, in den LPG nur Lagerungsmöglichkeiten für die zum Eigenverbrauch der LPG gelieferten, zentral aufbereiteten Mengen an Kraftfutter, Brotgetreide und Saatgut zu schaffen. Außerdem enthält ja der vorgeschlagene Speicher auch keinerlei Einrichtungen für die mahlentechnische Aufbereitung von Futtermitteln sowie eine noch unvollständige Technik, wenn man im Funktionsschema eine Reihe von Arbeiten mit einem hohen Handarbeitsaufwand vorstellt (Sackkarre, Dezimalwaage, Beförderung der Abgänge).

Die Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften sollte die von uns angeschnittene Frage der zentralen Aufbereitung untersuchen und somit helfen, den Genossenschaftsbauern und der gesamten Landwirtschaft der Republik in Abstimmung mit den zentralen Stellen des Staatsapparates eine klare Perspektive zu geben.

Zu einigen technologischen Fragen des vorgeschlagenen Zentralrohrsilospeichers möchten wir auf der Grundlage unserer Erfahrungen mit ähnlichen Einrichtungen in den DSG-HB wie folgt Stellung nehmen:

1. Die Förderung des Getreides durch Gebläse erhöht den ohnehin völlig unwirtschaftlichen Energieaufwand und bringt eine große Staubentwicklung mit sich, die zu einer starken Verunreinigung der gesamten Anlagen und zur Beeinträchtigung der Arbeitsfähigkeit der im Speicher Beschäftigten führt, obwohl sie technologisch einfacher ist. Hier haben sich Becherelevatoren und Bänder allgemein besser bewährt.
2. Die Frage der Entstaubung des Speichers und der Aufbereitungsanlagen wird nicht behandelt. Es wird auch nichts darüber ausgesagt, wo die Abgänge von der Vorreinigung und den Aufbereitungsmaschinen hingehen und wie sie befördert werden. Die Bedienung der Gesamtanlage nur durch eine Arbeitskraft erscheint auch unter diesem Gesichtspunkt unbewiesen und ist nur möglich, wenn eine zentrale Schaltanlage vorgesehen wird, die jedoch für einen solchen Speicher zu aufwendig ist.
3. Die Trocknung von Getreide in Zentralrohrsilos ist nur bedingt möglich und von der jeweiligen Luftfeuchtigkeit sehr stark ab-