

3. Arbeitswirtschaftliche Gründe verlangen eine geschlossene Anordnung von Silos und Getreidelagerräumen; der Anbau an vorhandene Speicher ist zweckmäßig.
4. Eine vollmechanisierte Beschickungs- und Entleerungseinrichtung muß auch ein Umfüllen des Siloinhalts während der Trocknung ermöglichen (s. a. Pkt. 8).
5. Für je zwei Silos ist ein Warmluftofen mit einer Leistung von mindestens 80 000 kcal/h vorzusehen, damit ein wechselseitiges Belüften des einen sowie Entleeren und Füllen des anderen Silos möglich ist. Werden Öfen mit höherer Wärmeleistung verwendet, so können auch mehrere Silos an das Warmluftrohr angeschlossen werden.
6. Die Verbindung zwischen Warmluftrohr und Belüftungsgebläse erfolgt in Form eines Injektors, d. h. das Ende des Warmluftrohres ragt etwa 3 bis 5 cm in den meist größeren konischen Ansaugstutzen des Gebläses hinein (Bild 1). Der noch freibleibende Ringquerschnitt darf nicht verschlossen werden, weil dann eine unzulässige Druckminderung im Zentralrohr auftritt und auf Grund der dadurch verringerten Luftmenge die freigewordene Feuchtigkeit nicht ausreichend abgeführt wird.
7. Unmittelbar am Siloeingang ist im Luftrohr eine Bohrung vorzusehen. In dieser wird zur Kontrolle der Lufteingangstemperatur ein Thermometer befestigt. Die Temperatur des Siloinhalts kann durch Einführung von Mietenthermometern kontrolliert werden.
8. Infolge der geringeren relativen Feuchtigkeit der vorgewärmten Trockenluft besteht in der Nähe des Zentralrohrs die Gefahr einer Untertrocknung des Siloinhalts.

Diese Gefahr kann durch ein- oder auch mehrmaligen Umlauf des gesamten Siloinhalts weitgehend gemindert werden. Der starke Luftstrom des Körnergebläses wirkt sich außerdem günstig auf den Feuchtigkeitssatz aus. Bei der Trocknung von Konsumgetreide bestehen diese Bedenken nicht.

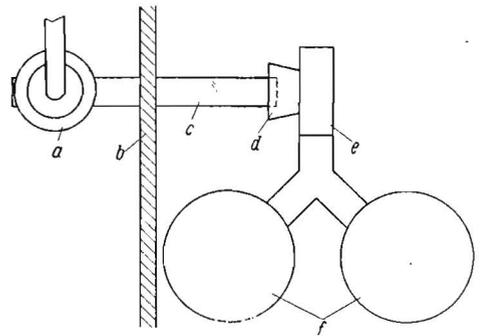


Bild 1

Schema der Anordnung des Heidenia-Ofens zum Belüftungsgebläse und zu den Silos. a Heidenia-Ofen, b feuerfeste Wand, c Warmluftrohr, d Injektor, e Belüftungsgebläse, f Zentralrohrsilos

Abschließend sei dazu noch gesagt, daß Neubrandenburg besonders ungünstige klimatische Verhältnisse hat: durchschnittlich hohe relative Luftfeuchtigkeit und nachts meist Nebelbildung. Die verhältnismäßig geringe Wärmeleistung der elektrischen Vorheizung mit 15 000 kcal/h beeinflußt also den Trockeneffekt nur unwesentlich. Hinzu kommt noch, daß die zum größten Teil bereits stark belasteten örtlichen Trafo-Stationen den Anschluß elektrischer Heizkörper von je 18 kW gar nicht zulassen.

Da jedoch der Mähdrescherflächenanteil von Jahr zu Jahr größer wird, somit auch immer mehr feuchtes Getreide in kurzer Zeit zu trocknen sein wird, ist die Erhöhung der Trockenleistung in den Zentralrohrsilos dringend geboten.

Die Verwendung von Heidenia-Öfen ist eine von sicherlich noch anderen Möglichkeiten. AK 5124 Ing. E. MEYER, KDT, Vorsitzender der SAG

Die direkte Trocknung von Weizen mit Rauchgasen

Dipl.-Ing. E. KEINER*

Das mit Mähdreschern geerntete Getreide besitzt eine wesentlich höhere Feuchte, als für die Lagerung zulässig ist. Das zuviel im Gut enthaltene Wasser ist ihm deshalb durch die technische Trocknung zu entziehen. Die Investitionen je t geerntetes Getreide für Trocknungsanlagen sind jedoch weitaus höher als die Mittel, die zur Bergung von 1 t Getreide erforderlich sind. Daher konnte der Bau von Trocknungsanlagen nicht im gleichen Maße gesteigert werden wie sich die Mähdrescherproduktion entwickelte; die Trocknungskapazität reicht deshalb nicht aus. Dieser Mangel wird z. Z. teilweise mit Hilfe der Trommeltrockner der Zuckerindustrie ausgeglichen. Der prinzipielle Nachteil solcher Anlagen besteht in der direkten Feuerung, d. h. der Verwendung eines Rauchgasluftgemisches als Trocknungsgas und in der oftmaligen Überschreitung der zulässigen Höchsttemperatur des Getreides infolge unzulänglicher Regeleinrichtungen. Da im allgemeinen keine oder nur unzureichende Angaben über bleibende Schädigungen hinsichtlich der Keim- und Backfähigkeit bei der direkten Trocknung vorlagen, wurden umfassende Versuche durchgeführt [1]. Die Ergebnisse werden in dieser Veröffentlichung wiedergegeben. Dagegen erfolgten im Zusammenhang mit diesen Versuchen keine Untersuchungen zur Bestimmung zulässiger Getreidehöchsttemperaturen bei der Trocknung.

Den in der Literatur veröffentlichten Berichten [2] [3] [4] [5] konnten nur widersprechende Ansichten über einen kritischen, maximal möglichen SO₂-Gehalt im Getreide entnommen werden, die im allgemeinen nicht durch Versuche belegt bzw. auf Grund unterschiedlicher Voraussetzungen nicht vergleichbar waren.

Aufgabenstellung

Der Verfasser stellte sich die Aufgabe, mit Hilfe einer Versuchsanlage Getreide direkt zu trocknen. Als veränderliche Parameter wurden der Brennstoff zur Rauchgaserzeugung,

die Zusammensetzung des Rauchgasluftgemisches und die Temperatur des Trockenmediums gewählt. Bei der Errichtung der Trockenanlage war daher eine schnelle Umbaumöglichkeit der Feuerung vorzusehen, die eine Heizung mit Rohbraunkohle, Braunkohlenbriketts und Stadtgas gestattete. Weiterhin waren eine gute Mischung des Rauchgases mit der Luft und eine konstante Temperatur anzustreben.

Versuchsanlage

Beschreibung der Anlage

Entsprechend Bild 1 bestand die Anlage aus drei Hauptteilen:

dem Rauchgaserzeuger a, dem Trockengutbehälter c und dem Ventilator d.

In der Anlage herrschte Unterdruck. Der Ventilator saugte das Rauchgasluftgemisch durch das Trockengut an und drückte es in den Schornstein. Das Rauchgas wurde in einem umgebauten Lufterhitzer erzeugt. Je nach der gewünschten Temperatur des Trockenmediums erfolgte eine Zumischung bestimmter Anteile Außenluft zur gesamten Rauchgasmenge *m_R*. Die Regelung der Zusammensetzung des Rauchgasluftgemisches geschah mit Hilfe der Klappen 1 und 2. Da der kleine Rost eine gleichmäßige Feuerführung nicht gestattete, wurde eine elektrische Zusatzheizung e eingebaut, die die Einhaltung einer konstanten Temperatur des Rauchgasluftgemisches ausgezeichnet ermöglichte.

Beschreibung der Meßeinrichtung

Ziel der Versuche war, die Qualitätsminderung des Getreides in Abhängigkeit des maximal möglichen SO₂-Gehalts im Getreide, der Zusammensetzung des Rauchgasluftgemisches und einer evtl. Unterschreitung der Taupunkttemperatur des Gemisches beim Durchströmen der Getreideschüttung festzustellen. Zu diesem Zweck war die Bestimmung der Luft-, Rauchgas- und Gemischmenge erforderlich. Die Luftmenge wurde mit Hilfe eines Anemo-

* Institut für Energiewirtschaft der Technischen Universität Dresden (Direktor: Prof. Dr.-Ing. N. FLSNER).

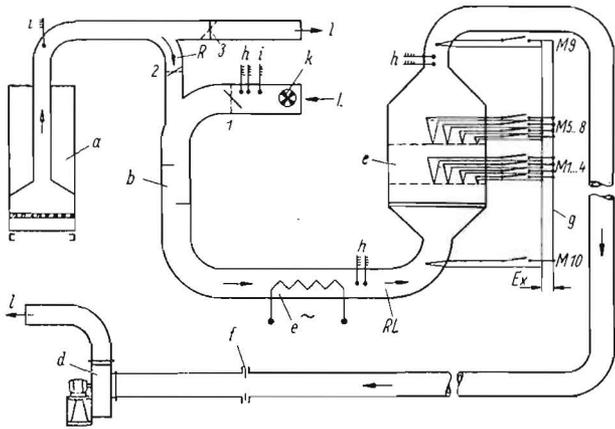


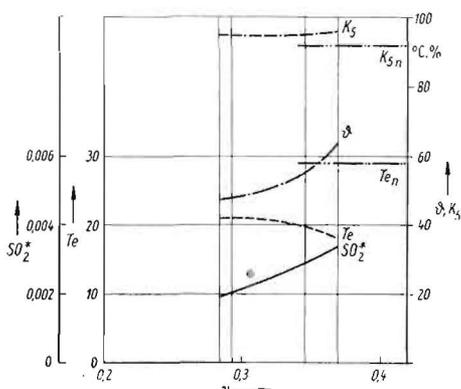
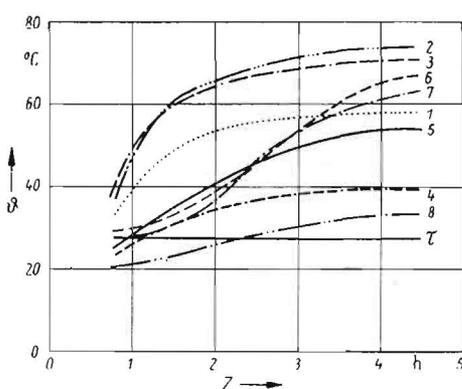
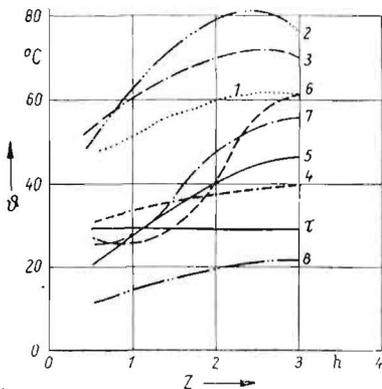
Bild 1. Prinzipskizze der Versuchsanlage.
 a Rauchgaserzeuger, b Mischrohr, c Trockengutbehälter, d Ventilator, e elektrische Zusatzheizung, f Normblende, g Temperaturmessung mittels Thermoelemente, h Psychrometer, i Thermometer, k Anemometer, l Schornstein, R Rauchgas, L Luft, RL Rauchgasluftgemisch, M Meßstelle, E_x Thermospannung der Thermoelemente, 1, 2, 3 Regulierklappen

meters k und die Gemischmenge mit einer Normblende f hinter dem Gutbehälter gemessen. Aus der Differenz beider Mengen läßt sich nach entsprechender Umrechnung die Rauchgasmenge bestimmen. Die Temperaturmessung erfolgte mit Thermoelementen, wobei außer den Temperaturen des zu- und abströmenden Rauchgasluftgemisches die genaue Temperaturverteilung in der Schüttung kontrolliert wurde, um die evtl. auftretenden Taupunktunterschreitung des Gemisches festzustellen g . Weiterhin war für die Bestimmung der Taupunkttemperatur im Rauchgasluftgemisch die Kenntnis des Feuchtegrades des zu- und abströmenden Gemisches wie auch der Außenluft wichtig. Sämtliche Messungen h erfolgten nach dem Psychrometerprinzip. Die vierte wichtige Meßgröße war die Gaszusammensetzung des Rauchgasluftgemisches. Die Durchführung der Gasanalyse geschah mit Hilfe eines Orsatapparates, in dem der $(CO_2 + SO_2)$ -, CO - und O_2 -Gehalt des Rauchgases ermittelt wurde. Mit Hilfe der Verbrennungsrechnung und den Gesetzen der Gasgemische ließen sich der Anteil des Unverbrannten α , die Luftüberschubzahl λ und die Zusammensetzung des Rauchgasluftgemisches eindeutig berechnen.

Bild 2. ϑ, z -Diagramm. Brennstoff: Rohbraunkohle mit einem Wassergehalt von 28,75%. Mischungsverhältnis: $\nu = 0,63$. Versuchsgut: angefeuchteter Weizen. Die Zahlen 1 bis 8 kennzeichnen die Meßstellen entsprechend Bild 1

Bild 3. ϑ, z -Diagramm. Brennstoff: Braunkohlenbriketts mit einem Wassergehalt von 16,15%. Mischungsverhältnis: $\nu = 0,615$. Versuchsgut: angefeuchteter Weizen
 τ = Taupunkttemperatur

Bild 4. SO_2 -Gehalt und Testzahl in Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses. Brennstoff: Rohbraunkohle mit einem Wassergehalt von 39,65%. Versuchsgut: naturfeuchter Weizen. K_5 = Keimfähigkeit in % nach 120 g. ϑ = Maximale Temperatur in der Getreideschüttung in $^{\circ}C$



Durchführung, Auswertung und Ergebnisse der Arbeit

Bei der ersten der beiden angestellten Versuchsserien wurde ausschließlich angefeuchteter Weizen mit einer Anfangsfeuchte von $f_e \approx 22\%$ getrocknet, während in der zweiten Folge nur naturfeuchter Weizen mit einer Anfangsfeuchte von $f_e \approx 20$ bis 22% zur Verfügung stand.

Die Auswertung der Versuche sah die Bestimmung der Taupunkttemperatur im Rauchgasluftgemisch und deren mögliche Unterschreitung beim Durchströmen des Getreides vor. Zu diesem Zweck erwies sich eine Darstellung in ϑ, z -Diagrammen als zweckmäßig (Bild 2 und 3.) Weiterhin wurde der durch eine direkte Trocknung maximal mögliche adsorptiv bindbare CO_2 - und SO_2 -Gehalt ermittelt. Nach jedem Versuch erfolgte eine Qualitätsbestimmung des Getreides anhand der Kenngrößen Keimfähigkeit K_5 , Testzahl T_e , Feuchtklebergehalt, Quellzahl und Maltosegehalt. Eine Darstellung der Kenngrößen, des CO_2 - und SO_2 -Gehalts und der maximalen Getreidetemperaturen in Abhängigkeit des Mengenverhältnisses

$$\nu = \frac{m_{RO}}{m_{RLO}} \quad (m_{RO} = \text{Rauchgasmenge, } m_{RLO} = \text{Menge des Rauchgasluftgemisches im Normalzustand),$$

gestattete Schlussfolgerungen zur Beurteilung möglicher Schädigungen. Im Ergebnis der Versuche mit angefeuchtetem Getreide war eine Schädigung des Gutes zu entnehmen, das mit Rauchgasen aus Rohbraunkohle getrocknet wurde. Eindeutig ließen sich ein teerhaltiger Rauchgeruch und im Vergleich zu den Versuchen mit anderen Brennstoffarten niedrigere Testzahlen nachweisen. Da man im allgemeinen eine Schädigung des Getreides infolge des SO_2 -Gehalts des Rauchgases vermutet, der s-Gehalt der Rohbraunkohle und der Briketts aber nur geringfügig verschieden ist, mußte also der unterschiedliche Wassergehalt beider Kohlearten für die größere Schädigung bei Verwendung von Rohbraunkohle maßgebend sein. Folgeerscheinungen zu hohem Wassergehalt der Kohlen sind relativ hohe Taupunkttemperaturen der Rauchgase, so daß die Gefahr einer rascheren und längeren Unterschreitung der Taupunkttemperatur in der Getreideschüttung gegeben und die Bildung von schwefeliger Säure (H_2SO_3) möglich ist. Infolgedessen erfolgte eine Darstellung des Temperaturverlaufs in der Getreideschicht und der Taupunkttemperatur in Abhängigkeit von der Zeit in ϑ, z -Diagrammen. Die vermutete Unterschreitung von τ war aber nur teilweise oder überhaupt nicht festzustellen (s. Bild 2 und 3), denn die Feuchten der Rohbraunkohle ($w_{Rbk.} = 28,75$); und der Briketts ($w_{BB} = 16,15\%$) waren zu gering.

Für die Versuche mit naturfeuchtem Getreide lagen die maximalen Temperaturen in der Getreideschicht niedriger als bei angefeuchtetem Getreide. Außerdem wurde auf ein geringeres Mengenverhältnis geachtet, d. h. $\nu_{nf} \approx 0,2$ bis $0,5$, während $\nu_{af} \approx 0,4$ bis $0,7$ betrug. Die Versuche entsprachen daher den Bedingungen der Praxis. Als interessantes Ergebnis dieser Versuche ist der gleichfalls gefundene Rauchgasgeruch bei dem Getreide zu bezeichnen, das mit aus

Rohbraunkohle gewonnenen Rauchgasen getrocknet wurde. Auf Grund der niedrigen ν_{nf} -Werte ermittelten sich für das Rauchgasluftgemisch wesentlich niedrigere Taupunkttemperaturen, da sich der geringere Feuchtigkeitsgehalt der Außenluft und ihr größerer Anteil an Gesamtgemisch sehr bemerkbar machten. Die Taupunkttemperaturen lagen niedriger als die geringsten in der Schüttung gemessenen Temperaturen. Demnach kann eine Qualitätsminderung keinesfalls auf eine Unterschreitung der Taupunkttemperatur zurückzuführen sein. Allerdings wichen die bei Verwendung von Rohbraunkohle gemessenen Testzahlen genauso wie bei den Versuchen mit angefeuchtetem Getreide sehr stark vom Normalwert ab, aber auch für Braunkohlenbriketts ergaben sich Unterschiede zum Normalwert. Dabei ist ein reziprokes Verhältnis als Zusammenhang zwischen Testzahl und maximal möglichem SO_2 - bzw. CO_2 -Gehalt im Getreide festzustellen (Bild 4 und 5). Diesen Ergebnissen wäre demnach eine Schädigung zumindestens der Getreideschale zu entnehmen, da die Testzahl eine Qualitätskenngröße für den Weizenschrot darstellt.

Um ausreichende charakteristische Größen für die Qualitätsbestimmung des Mehles, d. h. also des Klebers zu erhalten, wurde aus den Proben des getrockneten naturfeuchten Getreides Gebäck angefertigt. In keinem Fall ließ sich dabei eine Qualitätsminderung der Backeigenschaften des Mehles gegenüber dem des normalgetrockneten Getreides feststellen. Für Stadtgas als Brennstoff waren keinerlei Beeinträchtigungen irgendeiner Kenngröße zu bemerken.

Als Ergebnis der Untersuchungen ist festzustellen:

Angefeuchteter Weizen, dessen Anfangsfeuchte nicht über $f_m = 220\%$ liegt, erleidet keinerlei Qualitätsminderungen der Back- und Keimfähigkeit, wenn das Gut durch ein Rauchgasgemisch direkt getrocknet wird, das bei der Verbrennung von Rohbraunkohle, Braunkohlenbriketts und Stadtgas entsteht. Das Mengenverhältnis war für Rohbraunkohle und Briketts stets $\nu \leq 0,63$ bei einem rechnerisch maximal möglichem SO_2 -Gehalt im Getreide von $SO_2 \leq 0,84\%$, der allerdings nicht nachgewiesen wurde. Bei den Versuchen mit Rauchgasen aus Stadtgas betrug $\nu_{max} = 0,68$. Als maximale Temperatur im Getreide wurde $\vartheta_{max} = 89^\circ C$ gemessen.

Naturfeuchter Weizen mit einer mittleren Feuchte $f_m = 200\%$ zeigte nach der direkten Trocknung durch Rauchgasluftgemische, die durch die Verbrennung von Rohbraunkohle, Braunkohlenbriketts und Stadtgas gewonnen wurden, keine Beeinträchtigungen der Keim- und Backfähigkeit. Als maximales Mengenverhältnis ergab sich für Rohbraunkohle und Braunkohlenbriketts als Brennstoff $\nu = 0,37$ und für Stadtgas $\nu = 0,74$, wobei $\vartheta_{max} = 65^\circ C$ nicht überschritten wurde. Der maximal mögliche SO_2 -Gehalt, der im Getreide zurückbleiben konnte, errechnete sich zu $SO_2^* = 0,34\%$.

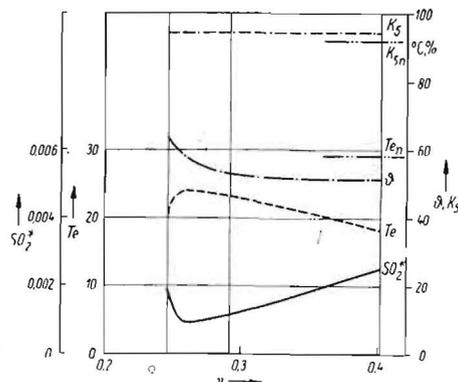


Bild 5. SO_2 -Gehalt und Testzahl in Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses. Brennstoff: Braunkohlenbriketts mit einem Wassergehalt von 18,15%. Versuchsgut: naturfeuchter Weizen. K_5 = Keimfähigkeit in % nach 120g. ϑ = Maximale Temperatur in der Getreideschüttung in $^\circ C$

Der in der Literatur [3] angegebene maximale Adsorptionswert von $SO_2^*_{zul} = 0,0025\%$ wurde bei allen Versuchen mit Rohbraunkohle bzw. Braunkohlenbriketts weit überschritten.

Setzt man nur eine Adsorption von 1% der maximal möglichen Mengen $SO_2^* = 0,24$ bis $0,84\%$ voraus, dann ist $SO_2^* = (1 \text{ bis } 3,5) SO_2^*_{zul}$.

Demnach hätte die Qualität des Getreides sämtlicher Versuche gemindert sein müssen, was aber nach den Ergebnissen der Untersuchungen nicht der Fall war. Dafür ergeben sich drei mögliche Erklärungen:

1. der adsorbierte SO_2 -Anteil mußte noch kleiner als 1% des maximal möglichen sein.
2. $SO_2^*_{zul}$ ist wesentlich größer als in [3] angegeben.
3. der SO_2 -Gehalt der Rauchgasluftgemische der verwendeten Brennstoffe hat keinen Einfluß auf die Getreideeigenschaften.

Der erste Fall ist unwahrscheinlich, wenn man den Strömungsweg durch die dichte Schüttung verfolgt und den anhaftenden Rauchgeruch am Getreide berücksichtigt. Allerdings läßt sich dafür kein Nachweis erbringen.

Die zweite Folgerung setzt voraus, daß der zulässige SO_2 -Gehalt nach [3] nicht exakt nachgewiesen wurde, sondern daß man die Versuche in der gleichen Weise wie hier beschrieben durchführte und die maximal mögliche SO_2 -Konzentration im Getreide für jeden Versuch errechnete. Der zulässige Betrag müßte nach diesen Versuchen dann aber wesentlich höher liegen.

Daß der SO_2 -Gehalt keinen Einfluß auf die Qualität des Getreides haben soll, ist unwahrscheinlich, weil das sämtlichen Angaben in der Literatur widersprechen würde.

Zusammenfassung

Eine direkte Trocknung des Getreides kann mit Rauchgasen aus allen drei untersuchten Brennstoffen empfohlen werden. Bei der Trocknung von naturfeuchtem Getreide betrug der entsprechend den Versuchsbedingungen errechnete maximale SO_2 -Gehalt

für Braunkohlenbriketts $SO_2^*_{max} = 0,24\%$,
für Rohbraunkohle $SO_2^*_{max} = 0,34\%$,

während sich bei der Trocknung von angefeuchtetem Getreide folgende Werte ergeben

für Braunkohlenbriketts $SO_2^*_{max} = 0,58\%$,
für Rohbraunkohle $SO_2^*_{max} = 0,84\%$.

Werden diese Angaben beim Auslegen der Feuerung und des Trockners berücksichtigt, dann ist mit keiner Schädigung des aus dem getrockneten Getreide gewonnenen Mehls zu rechnen, obwohl ein Rauchgeruch des Getreides zu erwarten ist. Damit wird es möglich sein, Wärmeverluste zu vermeiden, die bei der indirekten Trocknung infolge von Abgasverlusten durch den Schornstein entstehen. Sie liegen in der Größenordnung von $Q_{Verl} \approx 25$ bis 30% des gesamten Wärmebedarfs der Trocknungsanlage. Weiterhin entfallen Investitionskosten für den Bau des Schornsteins und des Wärmetauschers, so daß die Gesamtkosten der Getreidetrocknung geringer werden.

Literatur

- [1] KEINER, Direkte Trocknung von Körnerfrüchten durch Rauchgas. Forschungsbericht; Plan-Nr. 215796/2 - 03/0, TU Dresden.
- [2] CLEVE, Trocknung von Mähresüßergetreide. „Die Mülerei“ (1953), H. 22.
- [3] BUNGARTZ, Die direkte Verwendung der Verbrennungsgase bei der Getreidetrocknung. „Die Mülerei“ (1954) H. 5.
- [4] BUNGARTZ, Die Getreidetrocknung im gewerblichen Betrieb. Berichte über Landtechnik (1958) II. 54, S. 43/44.
- [5] FRANKE, Getreidetrocknung durch Feuergase im In- und Ausland. „Deutsche Agrartechnik“ (1960) II. 5, S. 220 und 221.