

Meßmethoden und Erfahrungen bei der Gebrauchswertprüfung von Getreidetrocknern

Von **Friedrich Vogeley**, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

Es wird über die wichtigsten Meßmethoden bei der Prüfung von Getreidetrocknern berichtet. Für die Ermittlung der Luftverteilung in trocknenden Getreideschichten wurde eine Meßeinrichtung neu entwickelt. Bei der Trocknung von Getreide auf dem Hofe gewinnt das Verfahren der Warmluftstättrocknung zunehmend an Bedeutung. Daher werden vordringliche Probleme dieses Trocknungsverfahrens behandelt. Die Endfeuchtegehalte von Getreide aus Warmluftstättrocknern sind ungleichmäßig. Durch eine Erhöhung der Belüftungsintensität bei gleichzeitiger Verminderung der Schichtdicke kann das Trocknungsergebnis verbessert werden. Andererseits erschwert eine hohe Belüftungsintensität bei geringen Gutschichten eine gleichmäßige Luftverteilung im Trocknungsbehälter. Auch kann es bei der Befüllung von Behältern zur Ausbildung von örtlichen Verdichtungen kommen. Es wird gezeigt, daß bei richtig ausgelegten Warmluftstättrocknern bei einfacher Bedienung günstige Trocknungsergebnisse erreicht werden können.

Seit sechs Jahren werden in der DLG-Prüfstelle für Landmaschinen Völkenrode Getreidetrockner geprüft und auf ihren Gebrauchswert hin beurteilt. Im Verlauf dieser Prüfungen konnten bei der Anwendung der Meßtechnik und hinsichtlich der Arbeitsweisen und der Handhabung verschiedener Trocknerbauarten Erfahrungen gesammelt werden, über die nachstehend berichtet wird.

Meßmethoden

Die Untersuchungen der DLG-Prüfstelle für Landmaschinen werden — im Gegensatz zu Modellversuchen — an fabrikmäßig hergestellten Trocknungsanlagen der trocknerbauenden Industrie vorgenommen. Wegen der dafür notwendigen großen Getreidemengen kann kein einheitliches Trocknungsgut — einheitlich nach Feuchtegehalt, Art, Sorte, Korngröße, Reifezustand, Fremdbesatz — bereitgestellt und auch kein Normzustand des Trocknungsmittels Luft eingehalten werden. Somit sind die den Trocknungsablauf beeinflussenden Faktoren veränderlich. Daraus resultieren unterschiedliche Trocknungsergebnisse, die in den Zahlentafeln eines jeden DLG-Maschinenprüfberichtes über Getreidetrockner zusammengestellt sind [1], und wie man sie auch unter den Bedingungen eines landwirtschaftlichen Betriebes erwarten kann. Es hat sich daher als notwendig und richtig erwiesen, mit jedem Trockner während der Getreideernte ganze Versuchsreihen mit naturfeuchtem Mähdruschgetreide zu fahren, um zu einer gut fundierten Aussage über den Gebrauchswert der Trockner zu kommen.

Die meßtechnischen Einrichtungen auf dem Trocknerprüfstand der DLG, **Bild 1**, erlauben es, bei jedem Versuch alle interessierenden Größen fortlaufend zu messen und zu registrieren [2]:

1. Der **Feuchtegehalt** der Getreidekörner als die wichtigste Bezugsgröße wird nach der Trockenschrank-Waage-Methode in Anlehnung an die Meßvorschrift der Standardmethoden bestimmt [3]. Die Entnahme von Proben aus körnigem Gut zur Feststellung des jeweiligen mittleren Gutzustandes ist wegen der Unterschiedlichkeit des Feuchtegehaltes im Gut problematisch. Daher ist bei der Befüllung und Entleerung des Trockners

eine häufige und regelmäßige Entnahme von Proben notwendig. Bei den Untersuchungen werden von je 1 bis 2 dz Getreide eine Probe vor und eine Probe nach der Trocknung gezogen und der Feuchtegehalt jeder einzelnen Probe bestimmt. Durch Mittelung der Einzelmessungen wird ein dem mittleren Feuchtegehalt der Füllung entsprechender Wert errechnet.

2. Die **Getreidemenge** wird mit einer eichfähigen automatischen Waage gewogen. Aus der Getreidemenge und den Feuchtegehalten vor und nach der Trocknung wird die entzogene Wassermenge errechnet.

Vorrichtungen zum Messen von

- 1 Außenluftzustand
(Temperatur, Feuchte, Druck)
- 2 Trocknungsluftmenge
- 3 Luftverteilung
- 4 Strömungswiderstand
- 5 Ablufttemperatur und -feuchte
- 6 Elektrizitätsverbrauch
- 7 Heizölverbrauch
- 8 Rauchgasanalyse



Bild 1. Warmluftstättrockner mit Zentralrohrbehälter auf dem DLG-Prüfstand (DLG-Ausstellung Hannover 1964).

3. Die **Trocknungsdauer** wird mit Betriebsstundenzählern gezählt. Sie kann in Abhängigkeit von der Korntemperatur zu einem qualitätsbeeinflussenden Faktor werden. Nach *Dencker* und Mitarbeitern [4] muß die Trocknung in Belüftungstrocknungsanlagen bei Feuchtegehalten bis 22% nach 10 Tagen und bei Feuchtegehalten über 22% schon nach 6 Tagen abgeschlossen sein. Bei Warmlufttrocknern wird die verderbensfreie Trocknungsdauer noch kürzer, da höhere Temperaturen den Schimmelbefall feuchter Körner begünstigen. Dies ist vor allem bei der Trocknung von Mais und Lupinen zu beobachten; diese Körnerfrüchte treten in feuchtem warmem Zustand auch schnell in das Keimstadium ein [5]. Die Technik der Kühllagerung ermöglicht aber heute eine schadenfreie Zwischenlagerung feuchter Körner über längere Zeiträume [6].

Die Leistung einer Trocknungsanlage kann aus den Meßwerten der drei vorgenannten Größen errechnet werden. Die Leistungsangabe wird dabei bezogen auf eine Herabsetzung des Feuchtegehaltes (Naßbasis) um 4%, und zwar von 20 auf 16%.

¹⁾ Vorgetragen auf der 23. Tagung der Landmaschinen-Konstrukteure in Braunschweig-Völkenrode am 15. Oktober 1965.

Dipl.-Landw. Ing. Friedrich Vogeley ist Sachgebietsleiter in der Prüfstelle für Landmaschinen (Leiter: Obering. W. Metzenthin) der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft Braunschweig-Völkenrode.

Dies entspricht einem Wasserentzug von 47,62 kg Wasser je Tonne Getreide.

4. Der *Energieverbrauch* in Form von Elektrizität für die elektromotorischen Antriebe (z. B. Ventilator, Heizölpumpe, Verbrennungsluftgebläse), für die Zünd-, Regel- und Steuergeräte und gegebenenfalls für die Luftanwärmung wird mit Elektrizitätszählern ermittelt und der Verbrauch in Form von Kohle, Gas oder Heizöl wird gewogen oder mit Schaltkolbenzählern gemessen. Aus dem Verbrauch werden die Energiekosten und der spezifische Energiebedarf, bezogen auf das verdampfte Wasser, berechnet.

5. Die *Korntemperatur* kann Qualitätsschäden herbeiführen, wenn sie die maximal zulässige Grenze übersteigt [7]. Sie wird gemessen, indem Körner aus den wärmsten Zonen des Trockners in Isolierflaschen mit Thermometern gebracht werden. Die DLG-Prüfungen werden bei den Korntemperaturen durchgeführt, die von der Einfuhr- und Vorratsstelle für Getreide- und Futtermittel, für Saat- und Brotgetreide vorgeschrieben sind [8]:

- 45°C bei Getreide bis zu 18%,
- 40°C bei Getreide über 18 bis zu 20%,
- 36°C bei Getreide über 20% Feuchtegehalt.

Während bei Durchlauftrocknern die Temperatur der Trocknungsluft höher sein kann als die zulässige Korntemperatur — in Abhängigkeit von der Verweildauer der Körner im Trockner —, darf die Trocknungslufttemperatur bei Satzrocknern nicht höher sein als die genannten zulässigen Korntemperaturen. Im Satzrockner nehmen nämlich die Körner zuluftseitig schon nach relativ kurzer Zeit die Temperatur der Luft an. Besonders die an den warmluftführenden Stahlblechteilen anliegenden Körner werden durch Kontakterwärmung sehr rasch aufgeheizt. Wenn die Körner dann auch schon einen niedrigeren Feuchtegehalt haben und temperaturunempfindlicher geworden sein müßten, so muß doch dem Faktor Zeit bei diesen Vorgängen (Umstrukturierung im Korn bei Änderung der Feuchtegehalte) eine gewisse Bedeutung eingeräumt werden. Darüber ist bis heute im Schrifttum nichts bekannt geworden. Nach Untersuchungsergebnissen von Schäfer und Altrogge [9] wissen wir aber, daß im Luftbad erwärmte feuchte Körner kurzzeitig eine höhere Temperatur im Korninneren als an der Kornoberfläche haben.

6. Die *Keimfähigkeit und Keimschnelligkeit* der Getreidekörner vor und nach der Behandlung im Trockner wird vom Untersuchungsamt der Landwirtschaftskammer Hannover bestimmt, um etwa aufgetretene Kornschädigungen durch den Trocknungsprozeß feststellen zu können.

Diese sechs Werte sind im allgemeinen hinreichend, um den Gebrauchswert eines Trockners unter praktischen Bedingungen in der Landwirtschaft zu beurteilen; sie werden auch in den Zahlentafeln der DLG-Maschinenprüfberichte zusammengestellt. Für den Landwirt ist die Trocknung in erster Linie ein betriebswirtschaftliches Problem, für den Konstrukteur dagegen ein technisches. So geben alle weiteren Messungen Einblick in die technischen Zusammenhänge, wieweit etwa konstruktive und verfahrenstechnische Bedingungen den Trocknungserfolg beeinflussen: die Behälterbauart, die Gestaltung der Vorrichtungen zum Befüllen und Entleeren, die Menge der Trocknungsluft und ihre Verteilung im Trockner, ihre Temperatur, Feuchte und ihr Druck auf dem Wege durch die Trocknungsanlage und durch das

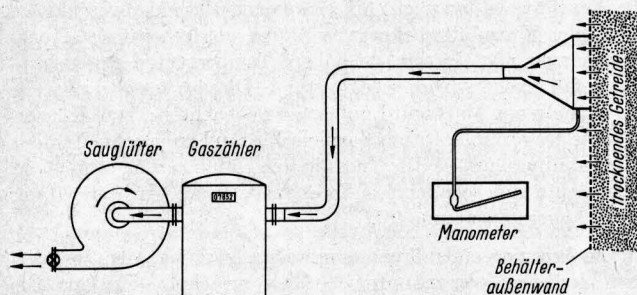


Bild 2. Vorrichtung zum Messen der Luftverteilung in Zentralrohrbehältern (schematisch).

Trocknungsgut, Zusammensetzung, Temperatur, Rußzahl und Zug des Rauchgases und die Oberflächentemperaturen am Lufterhitzer.

Als aufschlußreich hat sich die Messung der Luftverteilung in Trocknungsbehältern erwiesen. Metzenhain hat hierfür eine Meßeinrichtung entwickelt, Bild 2 und 3. Die abströmende Luft wird in einem dicht an der Behälterwand oder der Getreideoberfläche anliegenden Trichter aufgefangen und über einen Gaszähler gemessen. Ein Sauggebläse dient zur Kompensierung der Leitungs- und Zählerdruckverluste; es wird mit Hilfe einer Drossel auf einen solchen Betriebspunkt eingestellt, daß im Trichter der statische Druck ± 0 gegenüber Atmosphärendruck herrscht. Der Druck wird mit einem empfindlichen Schrägrohrmanometer überwacht. Dieses Verfahren hat sich besser bewährt als gebräuchliche Anemometer.

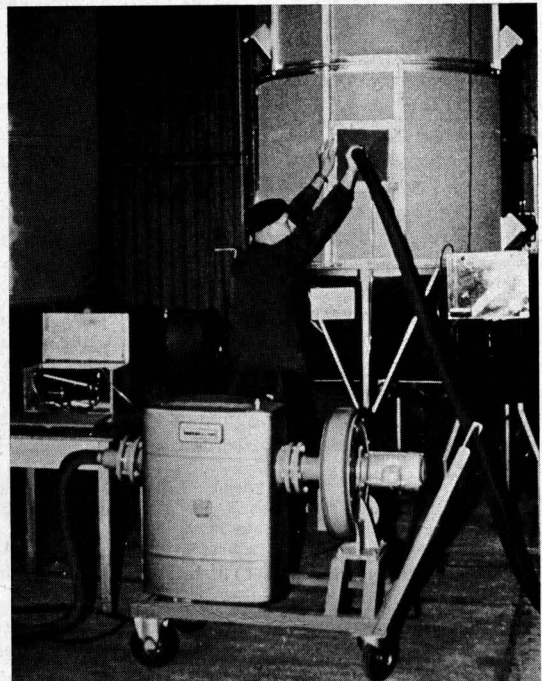


Bild 3. Messung der Luftverteilung an einem Zentralrohrbehälter.

Erfahrungen bei der Prüfung von Warmluftsatzrocknern mit Zentralrohrbehältern

Der folgende Erfahrungsbericht beschränkt sich aus aktuellem Anlaß auf Warmluftsatzrockner. Während nämlich das Verfahren der Belüftungstrocknung durch die Arbeiten von Dencker und Mitarbeiter [4] als abgeschlossen zu betrachten ist und die Warmluftdurchlauftrocknung keine sehr weitreichende Bedeutung bei der Trocknung landwirtschaftlicher Erntegüter auf dem Hofe hat, gewinnt das Verfahren der Warmluftsatztrocknung zunehmend an Bedeutung. So sind bei der Prüfstelle z. Z. fast nur Warmluftsatzrockner zur Prüfung angemeldet. Die Darlegungen beschränken sich außerdem auf Hochbehälter, wie Zentralrohr- und Querdurchlüftungssatzrockner, weil Warmluftsatzrockner mit Flachbehältern noch nicht untersucht werden konnten. Die Arbeiten von Kellermann [10] zeigen aber, daß bei allen Behälterbauarten grundsätzlich die gleichen Probleme auftreten.

Beim Übergang von der langsamen Trocknungsweise der Belüftungstrocknung mit klimatisierter Luft (Anwärmung um 3 bis 5°C) zur Schnelltrocknung mit Warmluft wurde zunächst die Trocknungsluft stärker angewärmt (um etwa 15 bis 30°C). Diese Maßnahme allein führte aber zu keinen befriedigenden Trocknungsergebnissen. Bei richtig durchgeführter Belüftungstrocknung liegt nämlich der Gleichgewichtsfeuchtegehalt des Getreides bei 14 bis 15%; es wird so lange belüftet, bis alles Getreide auf diesen Wert abgetrocknet ist. Bei der Warmluftsatztrocknung hingegen liegt der Gleichgewichtsfeuchtegehalt

je nach Luftzustand und Temperaturerhöhung bei unter 10% Kornfeuchtegehalt. Wird mit den bei Belüftungstrocknern üblichen spezifischen Luftmengen von 300 bis 400 m³/h Luft je m³ Getreide und Getreideschichtstärken von etwa 1 m belüftet, dann bildet sich eine Trocknungszone mit einer sehr geringen Tiefe aus, die nur langsam durch die Getreideschicht hindurchwandert. Beendet man den Trocknungsprozeß dann, wenn in der gesamten Behälterfüllung der gewünschte durchschnittliche Endfeuchtegehalt erreicht ist, dann sind die Getreidepartien abluftseitig noch feucht und zuluftseitig stark untertrocknet. Ein Teil des Getreides wird dabei überhaupt nicht in den Trocknungsprozeß einbezogen. Bei kühlem Erntewetter kann es zusätzlich zu Rekondensation in den abluftseitigen Gutschichten und damit zu Kornbefeuchtung kommen, wenn die mit Wasserdampf beladene Luft nach Durchströmen der Trocknungszone auf ihrem weiteren Wege durch das Getreide Wärme abgibt. Die unmittelbaren Folgen sind Leistungsminderung und Anstieg der Trocknungskosten. Darüber hinaus kann beim Entleeren solcher Trockner ein Entmischen von trockenem und feuchtem Getreide beobachtet werden. **Bild 4** gibt einen Einblick in einen Behälter nach Auslaufen des trockenen Anteils. Die Wand der feuchten noch stehenden Getreideschicht kennzeichnet die Stelle, bis zu der die Trocknungszone hindurchgewandert ist. Der Meßschieber aus einem solchen Trocknungsversuch ist in **Bild 5** dargestellt. Er zeigt die Temperaturen der Außenluft und Trocknungsluft und die Temperaturen und relativen Feuchten der Abluft. Der Verlauf der relativen Feuchte der Abluft an den Meßstellen 1, 2, 3 macht deutlich, daß die Trocknungszone bis zum Ende der Trocknung innerhalb der Getreideschicht bleibt. Im vorliegenden Fall wurde der Trocknungsprozeß wegen Schimmelbildung frühzeitig abgebrochen und das Getreide abgelassen. Die Feuchtegehalte der beim Befüllen und Entleeren des Behälters gezogenen Proben sind in ihrer zeitlichen Reihenfolge in **Bild 6** eingetragen und zeigen einen zwischen 11 und 25% wechselnden Endfeuchtegehalt.

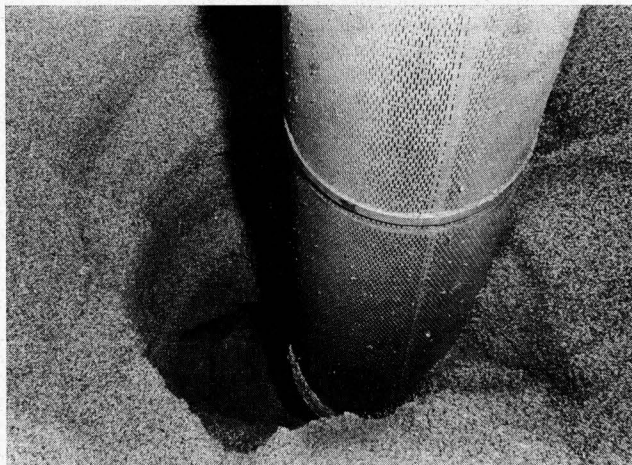


Bild 4. Einblick in einen Zentralrohrbehälter mit dicker Getreideschicht während des Entleerens; der trockene Anteil ist bis zur radial vorgedrungenen Trockenzone bereits ausgelaufen.

Das Entmischen beim Auslaufen aus Satzrocknern vorgenannter Bauart ist ein nahezu irreversibler Vorgang. Es kann auch durch häufige Förder- und Mischvorgänge nicht ganz ausgeglichen werden. Dieses wird durch Beobachtungsergebnisse von *Kellermann* [10] bestätigt, wonach die Vermischung räumlich weit voneinander entfernt liegender trockener und feuchter Partien gering ist. Die dann im Getreidelager befindlichen feuchten Nester führen zu Getreidebeschädigungen und zum Verderb.

Solche negativen Trocknungsergebnisse konnten bei der Weiterentwicklung des Verfahrens der Warmluftsatztrocknung von einigen Herstellern durch eine Erhöhung der Belüftungsintensität bei gleichzeitiger Verminderung der Schichtdicke des Trocknungsgutes verbessert werden. Der Endfeuchtegehalt der Körner war um so gleichmäßiger, je mehr sich die Verdunstungsweglänge der Gutschichtdicke näherte (die Wechsel-

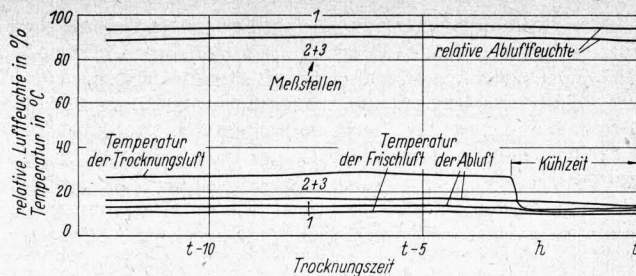


Bild 5. Verlauf der Lufttemperatur und der relativen Abluftfeuchte vor dem Ende der Trocknung bei einem Satzrockner mit dicker Gutschicht und niedriger Belüftungsintensität. t Gesamttrocknungsdauer

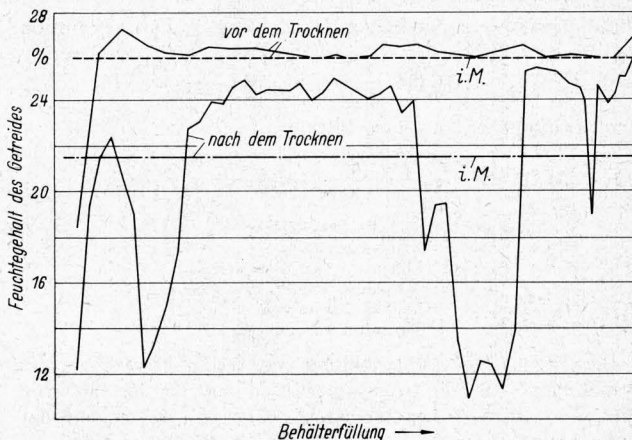


Bild 6. Feuchtegehalte beim Befüllen und Entleeren eines Trockners nach Bild 5.

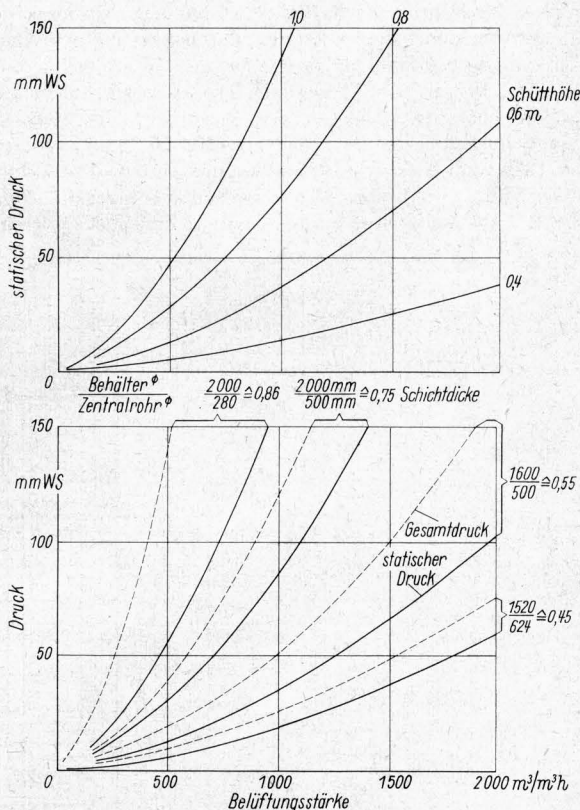


Bild 7. Strömungswiderstand von Luft in Getreideschüttungen. oben: parallele Strömung in Flach- und Querdurchlüftungssilos, unten: radiale Strömung in Zentralrohrbehältern.

wirkungen von Luftgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Schichtdicke beschreiben ausführlich *Isaacs* und *Scheuermann* [11].

Die Schichtdicke mußte dabei — gegenüber üblichen Schichtdicken bei der Belüftungstrocknung — stark vermindert werden,

um den Strömungswiderstand bei den dazu erforderlichen, hohen spezifischen Luftmengen in erträglichen Grenzen zu halten. In **Bild 7** sind Widerstandskennlinien von Getreideschüttungen über der Belüftungsstärke mit der Schichtdicke als Parameter aufgetragen und zwar für Flach- und Querdurchlüftungsbehälter im oberen und für Zentralrohrbehälter im unteren Diagramm. Bei der Auslegung der Gebläse ist zusätzlich noch der dynamische Druckanteil zu berücksichtigen, wie es im Diagramm für Zentralrohrbehälter für verschiedene Zentralrohrdurchmesser gesehen ist.

Die Kennlinien wurden errechnet nach *Simons* [12]; sie stimmen mit den Messungen gut überein. Für die Berechnung kann vorteilhaft eine Form nach *Heidt* [13] benutzt werden, die die *Simonsschen* Werte sehr gut beschreibt und auf dem Wege der Ausgleichsrechnung gewonnen wurde:

Für die Flachboden- und Querdurchlüftung lautet die Funktion:

$$\Delta p_{st} = \left[54,796 \frac{w}{1000} + 81,673 \left(\frac{w}{1000} \right)^2 \right] \cdot H$$

und für die Zentralrohrdurchlüftung:

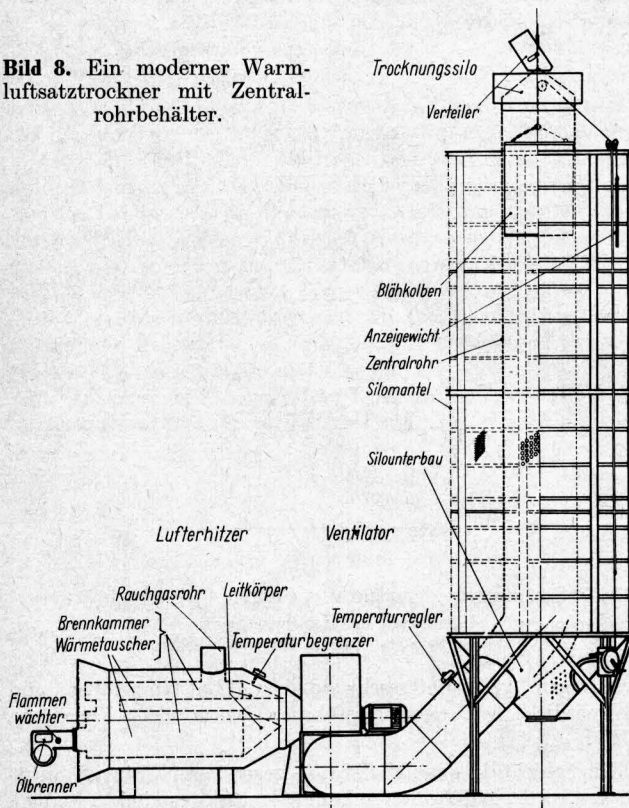
$$\Delta p_{st} = 20,07 \lg \frac{D_a}{D_i} \frac{q}{1000} + 4,14 \frac{D_a - D_i}{D_a D_i} \left(\frac{q}{1000} \right)^2$$

Δp_{st} mm WS	statische Druckdifferenz
w m/h	Luftgeschwindigkeit
q m ³ /hm	Luftmenge je m Behälterhöhe
H m	Getreideschütthöhe bzw. -schichtdicke
D_a m	Behälterdurchmesser
D_i m	Zentralrohrdurchmesser

Das Ergebnis der Entwicklung von Warmluftstättrocknern, **Bild 8**, führte zu Belüftungsintensitäten von 1000 bis 1800 m³/h Luft je m³ Getreide bei Gutschichtdicken von 50 cm oder darunter. Die Zentralrohrsilos wurden mit Einfüllvorrichtungen ausgerüstet, die ein rundum gleichmäßiges Befüllen des Behälters ermöglichen sollen.

In dem Meßschrieb nach **Bild 9** ist an dem Absinken der relativen Abluftfeuchte zu erkennen, daß bereits vor dem Ende der Trocknung die Trocknungszone aus der Gutschicht heraustritt; somit werden alle Körner vom Trocknungsprozeß erfaßt. Besonders charakteristisch ist der Kurvenzug der Feuchtegehalte beim Entleeren des Trockners, **Bild 10**. *Bailey* [14] hat schon 1959 und *Heidt* [5] 1963 eine gleichsinnige Darstellung veröffentlicht. Die Reihenfolge der Endfeuchtegehalte kann durch den Auslaufvorgang erklärt werden: Zunächst läuft eine

Bild 8. Ein moderner Warmluftstättrockner mit Zentralrohrbehälter.



Säule trockenen Getreides aus der Nähe des Zentralrohres ab. Dadurch entsteht ein eng umgrenzter Schlund, durch den sich der Behälter von oben nach unten entleert. Das Getreide läuft an der Oberfläche auf einer schiefen Ebene, deren Neigung dem jeweiligen Schüttwinkel entspricht, diesem Schlund zu. Dabei laufen die unterschiedlich feuchten Getreidepartien ineinander und mischen sich. Die hohen Feuchtegehalte unmittelbar nach Beginn und gegen Ende des Auslaufens entstammen dem im Hinblick auf die Luftführung schwieriger zu beherrschenden Zonen um den Blähkolben und aus dem äußeren Trichterrand.

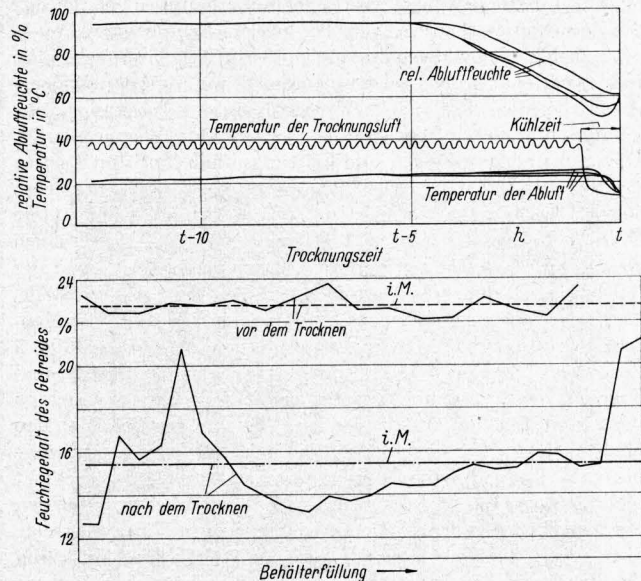


Bild 9. Verlauf der Lufttemperaturen und der relativen Abluftfeuchte vor dem Ende der Trocknung bei einem Stättrockner mit dünnerer Gutschicht und höherer Belüftungsintensität.
t Gesamttrocknungsdauer

Bild 10. Feuchtegehalte beim Befüllen und Entleeren eines Trockners nach **Bild 9**.

Vielfach treten aber auch ungünstigere Auslaufkurven auf, und zwar dann, wenn die Verteilung der Trocknungsluft im Behälter ungleichmäßig ist. Die Beherrschung einer gleichmäßigen Luftverteilung ist bei dünnen Gutschichten schwieriger. Ungleichmäßige Luftverteilung ist aber meistens die Folge von ungleicher Lagerdichte des Trocknungsgutes. Aus **Bild 11** oben, ist die Verteilung der Luft in verschiedenen Höhenschichten eines Zentralrohrbehälters zu ersehen, der einseitig von oben befüllt wurde. Die einseitig verminderte Durchlüftung ist verursacht durch die einseitige Ausbildung eines verdichteten Schüttkegels. Die verminderte Durchlüftung im unteren Teil des Behälters ist Folge einer Verdichtung durch die große Fallhöhe und das Eigengewicht, sie kann zu einem Teil auch strömungstechnisch bedingt sein. Bei dieser Behälterkonstruktion ist außerdem der Blähkolben bei vollem Behälter nicht genügend hoch einstellbar, was sich zusätzlich ungünstig auf die Durchlüftung der oberen Gutschichten auswirkt.

Der Temperatur- und Feuchteverlauf in der Abluft nach **Bild 11** unten, zeigt die zu erwartenden Unterschiede an Stellen hoher und niedriger Belüftungsintensität. Während einerseits die Trocknungszone bald aus der Gutschicht herauswandert, werden andererseits Teile des Gutes von der Trocknungszone überhaupt nicht erfaßt. Das bedingt neben einer Leistungsminderung von etwa 30% infolge von Wärmeverlusten an Stellen überdurchschnittlicher Durchlüftung eine größere Ungleichmäßigkeit im Endfeuchtegehalt. Ein solcher Trocknungsablauf bietet auch Schwierigkeiten im Hinblick auf die Meßwert-erfassung zur Bestimmung des Trocknungsendes und im Hinblick auf die Steuerung und Regelung.

Trocknungsergebnisse dieser Art sind verbesserungsfähig, und zwar durch zweckmäßige Einfüllvorrichtungen, durch die richtige Bedienung der luftabschließenden Organe wie Blähkolben oder Zugrollos und durch Dosierung der Wärmezufuhr nach dem Außenluftzustand.

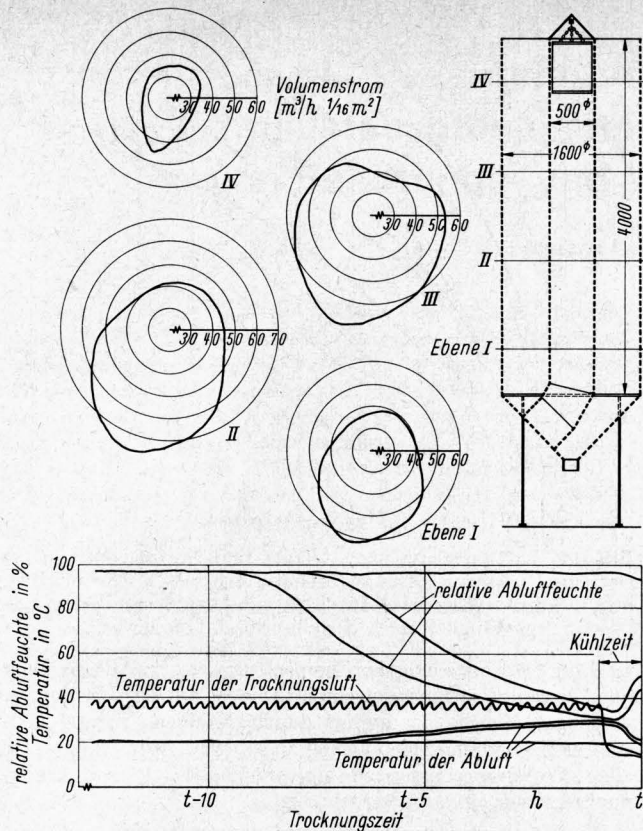


Bild 11. Zentralrohrtrockner ohne Einfüllvorrichtung (schematisch) und die Luftverteilung in vier Höhenschichtebenen nach einseitiger Befüllung; Diagramm darunter: Verlauf der Lufttemperaturen und der relativen Abluftfeuchte.

Bild 12 stellt einen Zentralrohrsilos schematisch dar, bei dem eine Einfüllvorrichtung mit Fallrohren die Ausbildung eines einseitigen Schüttkegels verhindert und dem Verdichten bei großen Fallhöhen entgegenwirkt. Die Luftverteilung ist gleichmäßiger, wie auch der Verlauf der Abluftfeuchte. Die Wirkung einer solchen Einrichtung, wie sie die Firma Engelbrecht & Lemmerbrock baut, wird um so deutlicher sein, je größer die Behälter und je höher die Kornfeuchtegehalte sind.

Trocknungsergebnisse von Silobauarten nach Bild 11 und 12 sind anhand der Auslaufproben in Bild 13 einander gegenübergestellt. In beiden Fällen war die Trocknung so weit geführt worden, daß die niedrigsten Feuchtegehalte mit etwa 14% gemessen wurden. Der mittlere bzw. höchste Feuchtegehalt

betrug aber in einem Falle 14,5% bzw. 15,5%, im anderen Falle 17% bzw. 22%.

Unterschiede im Feuchtegehalt beurteilt Kellermann [10] im Hinblick auf eine längere Lagerung von Getreide wie folgt: „Die Streuung der Meßwerte muß so gering sein, daß kein Einzelwert den durch Lagertemperatur gegebenen höchstzulässigen Feuchtigkeitsgrad übersteigt“²⁾.

²⁾ Kellermann geht davon aus, daß die Meßwerte aus etwa 1 l großen Proben gewonnen werden. Die Entnahme kleinerer Proben würde einer nicht notwendigen Verschärfung in der Beurteilung gleichkommen, damit aber die Sicherheit des Urteils über die Lagerfähigkeit eines Getreidepostens erhöhen.

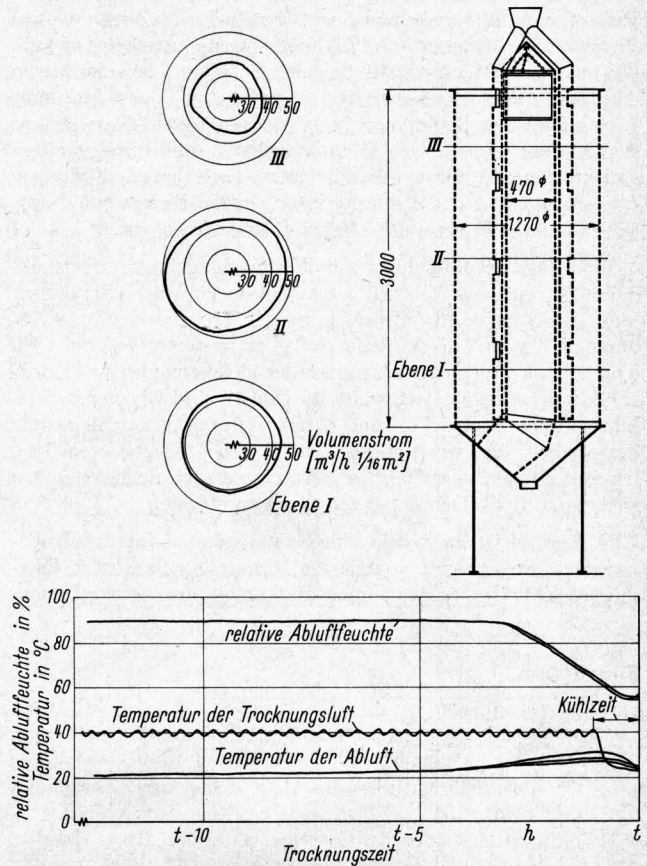
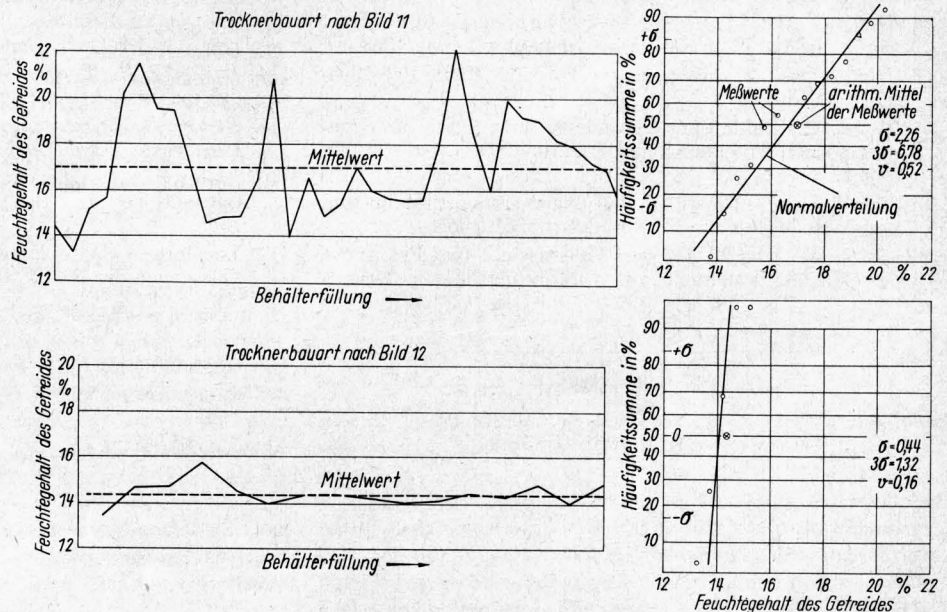


Bild 12. Zentralrohrsilos mit Einfüllvorrichtung (schematisch) und die Luftverteilung in drei Höhenschichtebenen; Diagramm darunter: Verlauf der Lufttemperaturen und der relativen Abluftfeuchte.

Bild 13. Feuchtegehalte beim Entleeren von Zentralrohrsilos nach Bauart in Bild 11 und in Bild 12 in der Reihenfolge der gezogenen Proben (links) und eingeordnet in ein Häufigkeitsnetz (rechts).



σ mittlere Abweichung
 3σ maximale Abweichung
 v Variationsbreite

Ordnet man die Endfeuchtegehalte aus einem bestimmten Trockner in ein Häufigkeitsnetz ein, Bild 13, so kann leicht abgelesen werden, welcher mittlere Feuchtegehalt bei vorgegebenem höchstzulässigen Feuchtegehalt angesteuert werden muß, um dieser Forderung zu genügen. Er wird bei Trocknern mit hoher Ungleichmäßigkeit im Endfeuchtegehalt weit unter dem höchstzulässigen Feuchtegehalt liegen, wodurch die Trocknungskosten erhöht werden. Ersatzweise kann dieser Forderung auch durch gründliche Durchmischung entsprochen werden, was aber zusätzliche Arbeitsgänge und Kosten verursacht.

Richtige Blähkolbeneinstellung kann dazu beitragen, die hohen Feuchtegehalte abzubauen, die nach Beginn der Behälterentleerung auftreten. Einige Firmen haben zur Erleichterung der Einstellung Blähkolbenanzeiger vorgesehen. Zwei weitere Firmen haben automatische Blähkolbenzustellungen entwickelt, die bei allen Füllungsstufen der Behälter, besonders beim Absinken des Getreides während des Trocknens, eine optimale Einstellung der Blähkolben gewährleisten sollen. Damit diese Einrichtungen auch richtig funktionieren, muß eine rundum gleichmäßige Befüllung der Behälter auch bei Teilfüllungen erreicht werden. Die Einfülltrichter einiger Firmen zum Aufsätzen auf das Zentralrohr erfüllen diese Aufgabe gut.

Eine weitere Maßnahme, den Endfeuchtegehalt im getrockneten Getreide aus Warmluftstättrocknern zu vergleichmäßigen, kann darin liegen, die Anwärmung der Trocknungsluft in Abhängigkeit vom Außenluftzustand so zu dosieren, daß bei allen Trocknungsvorgängen sich immer der gleiche niedrigste Gleichgewichtsfeuchtegehalt einstellt. In Bild 14 sind Gleichgewichtskurven nach Pichler [15] und Daiber [16] in das i - x -Diagramm eingetragen. Bei einem Gleichgewichtsfeuchtegehalt von 10% liegen die zugehörigen Trockenlufttemperaturen noch unter den zulässigen Höchsttemperaturen für Saatgetreide.

In Bild 14 ist außerdem eine Zustandskurve für die Trocknungsluft eingetragen, wie sie die Firma Engelbrecht & Lemmerbrock [17] in der Bedienungsanleitung in Form einer Zahlen-

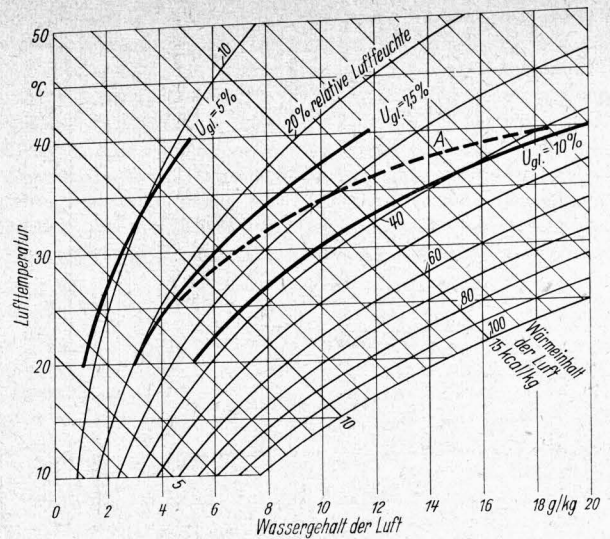


Bild 14. i - x -Diagramm nach Mollier und Zustandskurven für Getreide-Gleichgewichtsfeuchtegehalte $U_{g1} = 5; 7,5$ und 10% und die Zustandskurve A für Luft mit konstanter Wasseraufnahmefähigkeit nach Engelbrecht & Lemmerbrock.

tafel für die Einstellung des Temperaturreglers in Abhängigkeit vom Außenluftzustand vorschreibt. Sie ist auf der Überlegung aufgebaut, die Trocknungsluft immer in einen Zustand konstanter Wasseraufnahmefähigkeit zu bringen. Dadurch kann bei allen Trocknungsvorgängen ein annähernd gleiches Trocknungsergebnis erwartet werden.

Die Warmluftstättrocknung wird dann zum Erfolg geführt werden können, wenn u. a. die hier aufgezeigten Probleme gelöst werden. Die dazu von Herstellern entwickelten Möglichkeiten wurden angedeutet und die Wirkung einiger Maßnahmen an Beispielen gezeigt.

Schrifttum

- [1] Maschinenprüfberichte der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft. Prüfungsabteilung für Landmaschinen, Frankfurt a. M., Gruppe 8 h, 1961—1965.
- [2] DLG-Prüfungsrichtlinien für Getreidetrockner. Noch nicht veröffentlicht.
- [3] Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot. Hrsg. v. d. Arbeitsgemeinschaft für Getreideforschung e. V., 3. Aufl., Detmold: Verlag Moritz Schäfer 1961.
- [4] Dencker, C. H., H. Heidt, H. L. Wenner und C. Kellermann: Trocknung und Lagerung von Mähdruschgetreide im bäuerlichen Betrieb. KTL-Flugschrift Nr. 14. Wolfratshausen: H. Neureuter-Verlag 1965.
- [5] Heidt, H.: Die Trocknung von Körnermais. KTL-Flugschrift Nr. 12. Wolfratshausen: Neureuter-Verlag 1963.
- [6] Heidt, H., und H. Bolling: Körnerkühlung. Mühle **102** (1965) H. 10, 11 und 12.
- [7] Diemel, H.: Einfluß der Getreideverwertung auf die Organisation von Trocknung und Lagerung. Diss. Univ. Bonn 1963.
- [8] Richtlinien zum Umschlag- und Lagervertrag. Einfuhr- und Vorratsstelle für Getreide, Frankfurt a. M. 1957.
- [9] Schäfer, W., und L. Altrogge: Wissenschaft und Praxis der Getreidekonditionierung mit Einführung in die Grundprobleme der Getreidetrocknung. Detmold: Verlag Moritz Schäfer 1960.
- [10] Kellermann, C.: Das Verschneiden von feuchtem und trockenem Getreide bei der Stättrocknung. Diss. Univ. Bonn 1964.
- [11] Isaacs, G. W., und A. Scheuermann: Die Berechnung von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen mit dicken Schüttgutschichten. Landtechn. Forsch. **4** (1964) H. 4, S. 111/20.
- [12] Simons, D.: Untersuchungen über den Strömungswiderstand von Luft in Getreideschüttungen. Diss. TH Braunschweig 1954.
- [13] Heidt, H.: [5] und unveröffentlichte Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Universität Bonn (Direktor: Prof. Dr. Dr. C. H. Dencker).
- [14] Bailey, P. H.: The measurement of crop drier performance. J. Proc. Inst. Agric. Engrs. **15** (1959) Nr. 3, S. 58/70.
- [15] Pichler, H. J.: Sorptionsisothermen für Getreide und Raps. Landtechn. Forsch. **6** (1956) H. 2, S. 47/52.
- [16] Daiber, U.: Das Feuchtigkeitsgleichgewicht von Luft und Getreide bei der Behälterrocknung. Diss. Univ. Bonn 1958.
- [17] Engelbrecht & Lemmerbrock, Maschinenfabrik, Melle: Leistungen der NEUERO-Silotrockner. 1963.

★