

Steuerung und Regelung von Getreidetrocknungsanlagen

Von **Friedrich W. Litzenberger**, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

Durch den Einsatz des Mähdeschers gewinnt die künstliche Getreidetrocknung immer mehr an Bedeutung. Sie macht die Erntearbeiter unabhängiger von den Witterungsbedingungen. Ein voller Rationalisierungserfolg wird jedoch nur erreicht, wenn gleichzeitig Arbeitskräfte eingespart werden können. Dies ist u. a. durch selbsttätige Führung der Trocknungsanlagen möglich. In der vorliegenden Arbeit werden zunächst die physikalischen Größen dargestellt, nach denen ein Trocknungsvorgang beurteilt und geführt werden kann. Es folgt eine kurze Erläuterung der Begriffe Regelung und Steuerung. An Hand der drei grundlegenden Trocknerarten, dem Außenluftsatztrockner, dem Warmluftsatztrockner und dem Durchlaufrockner, wird dann gezeigt, für welche Funktionen dieser Apparate nach dem gegenwärtigen Stand der Technik eine selbsttätige Führung und Überwachung denkbar ist. In einigen Fällen wird dabei die praktische Anwendung noch durch Fühlerprobleme behindert.

Mit zunehmender Verbreitung des Mähdruschs gewinnt auch die künstliche Getreidetrocknung als ein wichtiges und notwendiges Glied der Getreideerntekette an Bedeutung. Die Wirtschaftlichkeit moderner Ernteverfahren beruht u. a. darauf, daß sie die Ernte unabhängiger vom Wetter machen und den Bedarf an Arbeitskräften verringern. Eine wirksame Einsparung an Arbeitskräften ist jedoch nur erreichbar, wenn die einzelnen Verfahrensstufen der Erntekette in ihrem zeitlichen Ablauf aufeinander abgestimmt werden. Dies läßt sich bei der Getreidetrocknung durch eine der anfallenden Erntegutmenge entsprechende Auslegung der Trocknungs-, Förderungs- und Lagerkapazitäten und gleichzeitig durch eine selbsttätige Führung der Trocknungsanlage erzielen.

Merkmale der künstlichen Getreidetrocknung

Getreide ist nur bei niedrigen Feuchtegraden für längere Zeit lagerfähig. Während bei der natürlichen Austrocknung am stehenden Halm und im Bansen durch das Stroh eine lockere Packung und damit eine gute Belüftung der Körner garantiert wird, müssen in der dichten Körnerschüttung die Trocknungsbedingungen künstlich verbessert werden, um eine ausreichende Trocknungsgeschwindigkeit zu erzielen. Wichtige Mittel zur Verbesserung der Trocknungsbedingungen sind bei den vorwiegend angewandten Konvektionstrocknungsverfahren:

1. die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit und
2. die Erhöhung der Zulufttemperatur.

Durch die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit vergrößert sich die Stoffübergangszahl β (m/h). Sie ist für die Übernahme der an der Kornoberfläche befindlichen Wasserdampfmoleküle in den Luftstrom verantwortlich. **Bild 1** möge diesen Zusammenhang verdeutlichen. Auf der Abszisse ist hier die eine modifizierte Péceletzahl aufgetragen, welche der Strömungsgeschwindigkeit w proportional ist; die Ordinate zeigt eine modifizierte Nusseltzahl und stellt eine der Stoffübergangszahl β proportionale Größe dar. β steigt also mit w nach einem Potenzgesetz an.

Durch die Erhöhung der Lufttemperatur vergrößert sich die Feuchtemenge, die von einer bestimmten Luftmenge bis zu deren Sättigung aufgenommen werden kann, d. h., es verbessert sich die Wasserdampfaufnahmefähigkeit der Luft.

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

Dipl.-Ing. Friedrich W. Litzenberger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

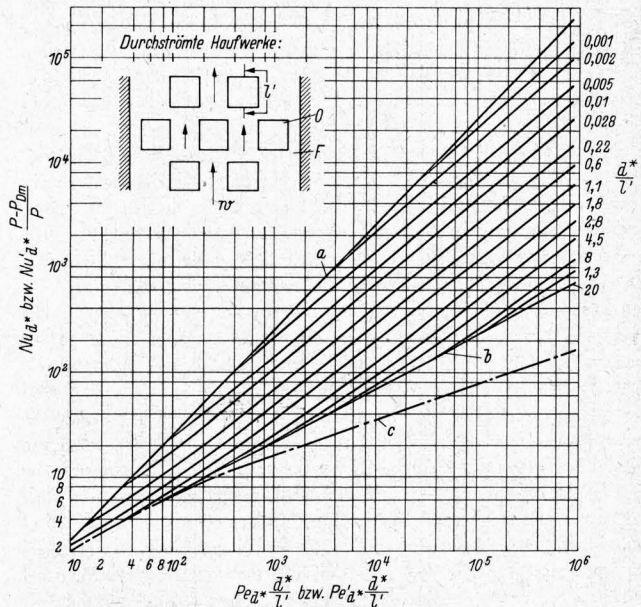


Bild 1. Wärme- und Stoffübergang für Luft in durchströmten Haufwerken nach *Krischer* [1].

- a vollkommener thermischer Ausgleich
- b thermischer und hydrodynamischer Anlauf bei laminarer Grenzschicht
- c thermischer Anlauf bei hydrodynamisch ausgebildeter laminarer Strömung im zylindrischen Rohr

	für Wärmeübergang	für Stoffübergang
Nusseltzahl	$Nu_d^* = \frac{\alpha_e d^*}{\lambda}$	$Nu'_d^* = \frac{\beta_e d^*}{\delta}$
Péceletzahl	$Pe_d^* = \frac{w d^*}{a}$	$Pe'_d^* = \frac{w d^*}{\delta}$

Zu der Skizze „Durchströmte Haufwerke“:

$$w = \frac{V}{F \psi} = \text{Geschwindigkeit im mittleren Lückenraumquerschnitt } f = F \psi$$

$$d^* = \frac{4 F \psi l'}{O}; \quad \frac{d^*}{l'} = \frac{4 F \psi}{O}$$

Verwendete Formelzeichen

a	m ² /h	Temperaturleitzahl
d^*	m	äquivalenter Durchmesser
f	m ²	verengter Anströmquerschnitt
F	m ²	frei gedachter Anströmquerschnitt
l'	m	Anströmlänge der Einzelkörper
Nu_d^*	—	Nusseltzahl für Wärmeübergang
Nu'_d^*	—	Nusseltzahl für Stoffübergang
O	m ²	gesamte Austauschoberfläche in einem Abschnitt der Länge l'
P	kp/m ²	Gesamtdruck
$P - P_{Dm}$	kp/m ²	mittlerer Teildruck der Luft
Pe_d^*	—	Péceletzahl für Wärmeübergang
Pe'_d^*	—	Péceletzahl für Stoffübergang
V	m ³ /h	stündliches Luftvolumen
w	m/s	Geschwindigkeit im mittleren Lückenraumquerschnitt
α_e	kcal/m ² h°C	Wärmeübergangszahl, bezogen auf die Temperaturdifferenz im Eintrittszustand
β	m/h	Stoffübergangszahl
β_e	m/h	Stoffübergangszahl, bezogen auf die Dampfdruckdifferenz im Eintrittszustand
δ	m ² /h	Diffusionszahl
ψ	—	Porosität

Die Wirksamkeit dieses Verfahrens läßt sich am *Mollierschen* i - x -Diagramm nach **Bild 2** ablesen: 1 kg Luft mit einer Temperatur von 20°C und einer relativen Feuchte von $\varphi = 60\%$ kann bei adiabatischer Sättigung (entlang der Linie $i = \text{const}$) auf $\varphi = 95\%$ eine Wasserdampfmenge von $\Delta x_1 = 1,7$ g/kg aufnehmen. Bei Erwärmung der gleichen Luft von 20°C auf 40°C verringert sich bei konstantem Luftfeuchtegrad x die relative Feuchte auf etwa 20%. Die Wasserdampfaufnahmefähigkeit bis zu $\varphi = 95\%$ beträgt nun $\Delta x_2 = 7,1$ g/kg, hat sich also vervierfacht.

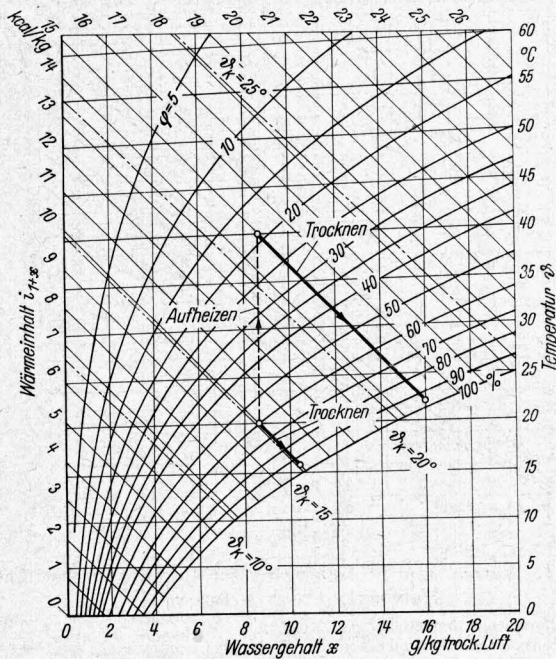


Bild 2. i - x -Diagramm für feuchte Luft; Vergrößerung der Wasserdampfaufnahmefähigkeit durch Erwärmen.

In vielen Fällen ist diese Erhöhung der Lufttemperatur und somit die Erniedrigung der relativen Luftfeuchte notwendig, um die Luft überhaupt trocknungsfähig zu machen. Die Getreidearten, als hygroskopische Güter, können nur dann mit Luft getrocknet werden, wenn die Luftfeuchte unter einem von Gutsfeuchtegrad und Temperatur abhängigen Gleichgewichtswert liegt. Er wird durch die in **Bild 3** dargestellte Sorptionsisotherme festgelegt. Als ausreichend zur Konservierung von Getreide wird in der Praxis ein Feuchtegrad von $U = 16\%$ (bezogen auf die Gesamtmasse) bzw. ein Feuchtegrad von $X = 0,19$ kg/kg (bezogen auf die Trockensubstanz) angesehen²⁾. Man erkennt, daß bei einer Getreidetemperatur von 20°C zur Erreichung dieses Feuchtegrades die relative Luftfeuchte nicht mehr als 75% betragen darf.

Vorgegebene technologische Grenzen

Der Erhöhung der Luftgeschwindigkeit sind apparative und wirtschaftliche Grenzen gesetzt, da der Strömungswiderstand in einer Schüttung mit dem Durchsatzvolumen zunimmt.

Die anwendbare maximale Lufttemperatur ist durch das biologische Verhalten des Getreides sehr eng begrenzt, da bei höheren Feuchten schon Korntemperaturen oberhalb 35°C Schädigungen der Keimfähigkeit hervorrufen können. **Bild 4** zeigt Richtwerte für maximale Korntemperaturen nach *Sprenger* [3] bzw. *Dencker* u. a. [4], in denen die Abhängigkeit vom Feuchtegrad des Gutes zum Ausdruck kommt.

Weiterhin muß die Verweilzeit der Körner im Luftstrom einerseits lang genug sein, um den gewünschten Feuchtegrad zu erreichen, und andererseits begrenzt werden, um eine (teilweise) Untertrocknung des Gutes unter den gewünschten Wert zu

²⁾ Im folgenden wird, entsprechend einer Empfehlung des VDMA-Einheitsblattes 24351, Trocknungstechnische Grundbegriffe, Köln, Oktober 1962, der Gutszustand durch den Feuchtegrad X (Feuchtemasse, bezogen auf die Trockensubstanz) angegeben. Er ergibt sich aus dem Feuchtegehalt U (in %) nach

$$X = \frac{U}{100 - U}$$

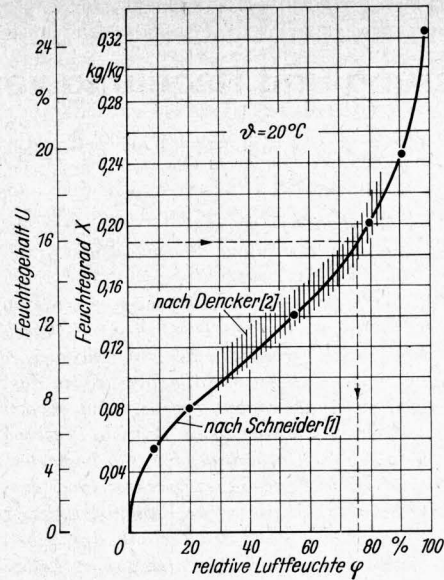


Bild 3. Sorptionsverhalten von Brotgetreide nach *Schneider* [1; Abb. 31] und *Dencker* [2].

vermeiden. Die Untertrocknung kann nämlich ebenfalls zu Schädigungen der Keimfähigkeit führen. Außerdem muß die Verweilzeit aus Gründen der Kostenersparnis für die Luftumwälzung, die Luftanwärmung und die Erstellung von Trocknerkapazität kurz gehalten werden.

Die obengenannten Bedingungen lassen sich durch Handbedienung durch eine Aufsichtsperson, besser und wirtschaftlicher jedoch durch selbsttätige Führung der Trocknungsanlage, einhalten.

Definition von Regelung und Steuerung

Die selbsttätige Führung eines Verfahrensablaufes kann durch Regelungs- und Steuerungsvorgänge erreicht werden. Die Regelung wird dabei [5] als ein Vorgang definiert, bei welchem der vorgegebene Wert einer Größe fortlaufend durch Eingriff auf Grund von Messungen dieser Größe hergestellt und gegenüber Störeinflüssen aufrechterhalten wird. Dies sei an dem in **Bild 5** dargestellten Beispiel erläutert. Ein Ölbrenner erzeugt hier einen Warmluftstrom, dessen Temperatur konstant gehalten werden soll. Die Temperatur als Regelgröße x wird gemessen und an einem Schaltthermometer angezeigt. Liegt der Meßwert unter dem hier eingestellten Sollwert der Temperatur, der Führungsgröße w , so wird über einen Umschalter durch einen Stellmotor der Hub eines Ölzufußventils, die Stellgröße y , so verändert, daß sich eine größere Ölzufußmenge und dadurch eine höhere

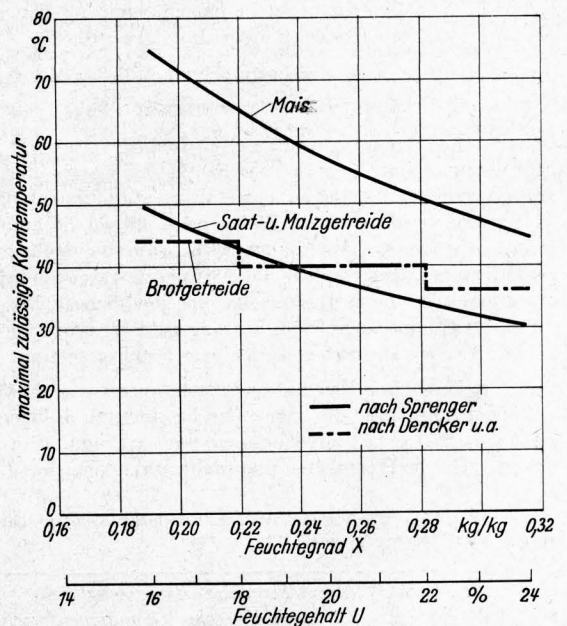


Bild 4. Maximal zulässige Korntemperaturen als Funktionen des Feuchtegrades bzw. des Feuchtegehaltes.

Temperatur an der Meßstelle ergibt. Bei Erreichen der Sollwerttemperatur an der Meßstelle wird der Stellvorgang abgebrochen. Tritt infolge der Wärmeträgheit des Systems eine weitere Temperaturerhöhung ein, so schließt sich ein Stellvorgang in umgekehrter Richtung an. In mehreren Wechselpendelt sich die Regelgröße dann auf den Sollwert ein. Als Störgrößen z , die auf die Regelgröße einwirken, können hier Änderungen der Außenlufttemperatur, des Druckes in der Ölzuleitung und der Luftdurchsatzmenge auftreten. Das Glied für den Vergleich zwischen Meßwert und Sollwert bildet mit dem Umsteuerrelais und dem Stellmotor den Regler, während die zu regelnde Anlage zwischen Stellventil und Meßfühler die Regelstrecke darstellt. Durch das Zusammenspiel von Regler und Regelstrecke entsteht ein in sich geschlossener, gerichteter Wirkungsablauf, der Regelkreis. Er ist dadurch gekennzeichnet, daß die zu regelnde Größe gemessen und entsprechend ihrer Abweichung vom Sollwert ein Stellvorgang ausgelöst wird, der auf die Regelgröße und somit auf die Meßstelle zurückwirkt.

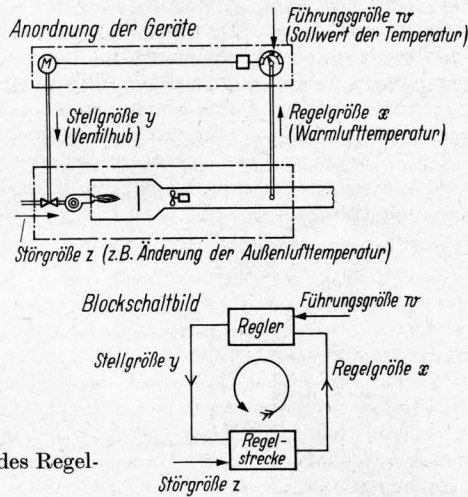


Bild 5. Prinzip des Regelkreises.

Der Regler muß dem zeitlichen Verhalten der Regelstrecke, etwa einer stark verzögert auftretenden Reaktion auf die Änderung der Stellgröße, angepaßt werden. Es gibt daher Reglertypen mit unterschiedlichem Regelverhalten, wie Proportional-, Integral- und PID-Regler [6].

Bei den hier behandelten Regelaufgaben wird häufig die besonders einfach zu verwirklichende Form der „Zweipunktregelung“ angewandt. Dabei wird die Stellgröße nicht kontinuierlich, sondern nur zwischen zwei Schaltzuständen, etwa Ein-Aus oder Vollast-Halblast, verändert. Um die Schalthäufigkeit in Grenzen zu halten, stattet man den Regler oft mit einer gewissen Schaltdifferenz aus. Der Regler schaltet dann bei abfallender Regelgröße bei einem niedrigeren Wert ein, als bei zunehmender Regelgröße ausgeschaltet wird. Das Mittel zwischen dem Maximum und Minimum der Regelgröße stellt dann den effektiven Sollwert dar. **Bild 6** veranschaulicht die als „Arbeitsbewegung“ bezeichneten Schwankungen der Regelgröße bei Zweipunktregelung an einer Regelstrecke mit Ausgleich. Die Schaltdifferenz des Reglers muß, je nach dem Zeitverhalten der Regelstrecke, so gewählt werden, daß die bei der Arbeitsbewegung auftretenden Abweichungen der Regelgröße vom Mittelwert in zulässigen Grenzen liegen.

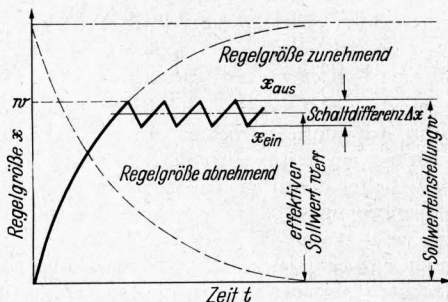


Bild 6. Arbeitsbewegung einer Zweipunktregelung mit Schaltdifferenz.

Auch mit Hilfe der Steuerung, dem zweiten Mittel zur selbsttätigen Führung eines Vorganges, kann der Einfluß von Störgrößen auf eine in bestimmten Grenzen zu haltende „gesteuerte“ Größe verringert werden. Als Eingangsgröße mißt man jedoch nicht, wie bei der Regelung, die zu steuernde Größe selbst, sondern eine maßgebliche Einflußgröße. Diese kann eine Störgröße oder, wie in vielen Fällen, die Zeit sein. In **Bild 7** ist die Steuerung der relativen Luftfeuchte in einem Luftkanal dargestellt. Die veränderliche Außenluftfeuchte als wichtigste Störgröße z_1 wirkt einerseits auf den Luftzustand im Kanal 6, andererseits als Eingangsgröße auf den Meßfühler 1 der Steuerung ein. Über ein Schalthygrometer 2 wird beim Überschreiten eines eingestellten Sollwertes über ein Schütz 3 u. 4 eine Elektroheizung 5 eingeschaltet. Die Heizleistung sei beispielsweise so bemessen, daß bei 15°C Lufttemperatur und 95% relativer Luftfeuchte eine Lufterwärmung von 6°C und somit eine relative Luftfeuchte von 65% erreichbar ist. Die Luftfeuchte im Kanal wird damit stets unter diesem Wert gehalten, wenn nicht andere Störgrößen, etwa eine Erhöhung der Luftdurchsatzmenge durch Veränderung des Gegendruckes im Kanal oder der Ventilator-drehzahl, auf das System einwirken. Solche Einflüsse können nicht erfaßt werden, da ja die gesteuerte Größe nicht gemessen wird und keine Rückwirkung von ihr auf die Meßstelle möglich ist. Im Gegensatz zum Regelkreis liegt ein offener Wirkungsablauf mit vorgegebener Richtung vor, der als Steuerkette bezeichnet wird. Steuerketten werden für Automationsaufgaben oft angewandt, da sie, etwa als Programmschaltwerke mit der Zeit als Eingangsgröße, einfacher zu realisieren sind als Regelkreise und bei ihnen keine Instabilitätsprobleme auftreten. Eine bestimmte Wirkung läßt sich mit einer Steuerkette jedoch nur dann erzielen, wenn der funktionelle Zusammenhang zwischen den meßtechnisch erfaßten Eingangsgrößen (hier der Störgröße z_1) und der gesteuerten Größe im voraus bekannt ist. Der Einfluß nicht erfaßter Störgrößen muß vernachlässigbar klein sein.

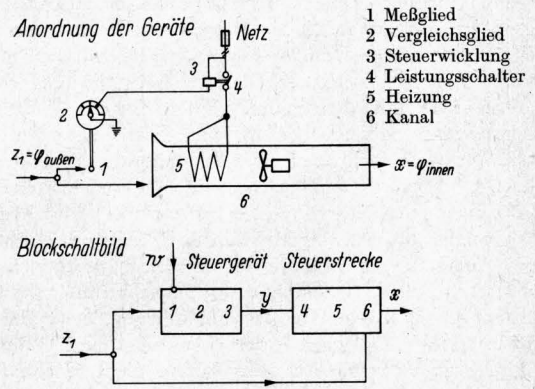


Bild 7. Prinzip der Steuerkette.
 z_1 Störgröße (Schwankung der Außenluftfeuchte)
 w Führungsgröße (Sollwerteneinstellung am Hygrometer)
 y Stellgröße (Heizstrom)
 x gesteuerte Größe (Luftfeuchte im Kanal)

Regelungs- und Steuerungseinrichtungen an Getreidetrocknern

An Getreidetrocknern finden sich nebeneinander Regelungs- und Steuerungseinrichtungen. Ihre Aufgaben lassen sich wie folgt einteilen:

1. Sichern der Anlage. Hier soll eine Abschaltung der Gesamtanlage oder eines Teilbereichs oder die Abgabe eines Signals bewirkt werden, wenn wichtige Aggregate, z. B. der Gebläseantrieb, die Zündanlage bei Ölbrennern oder der Trocknungsluftthermostat, ausgefallen sind. Da hier ein Fehler gesucht und beseitigt werden muß, bevor man die Anlage wieder in Gang setzen kann, werden diese Einrichtungen meist als Steuerketten ausgebildet. Die Steuergeräte werden hier so gestaltet, daß sie nur eine Befehlsart, etwa den Abschaltbefehl ausgeben können. Das Wiedereinschalten der Anlage muß dann von Hand erfolgen.

2. Konstanthalten der Zulufttemperatur. Hier soll eine bestimmte Lufttemperatur genau eingehalten werden, um einerseits eine Schädigung des Korns durch zu hohe Korntemperaturen zu verhindern und andererseits den zulässigen Temperaturbereich im Interesse einer schnellen Trocknung voll auszunutzen.

3. Einhalten bestimmter Endfeuchtegrade oder Verweilzeiten. Hier wird der Endfeuchtegrad des Getreides, meist über die Beeinflussung der Verweilzeit, konstant gehalten. Neben der Sicherstellung des für die Konservierung notwendigen Feuchtegrades steht dabei die Einsparung von Energie- und Trocknungsraumkosten im Vordergrund.

4. Einhalten eines günstigen Betriebszustandes. Hierher gehören Einrichtungen, die eine optimale Luftführung während der gesamten Betriebszeit des Trockners sicherstellen und andere, nicht zur Temperaturregelung gehörende Steuerungseinrichtungen für den Luftzustand.

Da zahlreiche Regelaufgaben für den jeweiligen Trocknertyp eines Außenluftsatztrockners, Warmluftsatztrockners oder Durchlauf-trockners charakteristisch sind, sollen sie hier an Hand der einzelnen Trockner erläutert werden.

Außenluftsatztrockner

Bei Außenluftsatztrocknern wird in der Regel nicht aufbereitete Außenluft durch eine ruhende Getreideschüttung geblasen. Ein Endfeuchtegrad des Getreides von $X = 0,19 \text{ kg/kg}$ läßt sich damit nur bei relativen Luftfeuchten unter 75% erreichen. Für Wetterlagen, in denen die relative Luftfeuchte höher liegt, kann man sie durch schwache Erwärmung der Ansaugluft verringern. Dabei werden Elektroheizgeräte mit einer oder mehreren Heizstufen verwendet, die bis zu 6°C Temperaturerhöhung bewirken können.

Von den regelungstechnischen Einrichtungen werden zunächst die Sicherheitseinrichtungen betrachtet. In den Stromkreis des Gebläseantriebes wird, wie bei allen größeren elektrischen Antrieben, ein Motorschutzschalter eingebaut. Bei zu großer Stromaufnahme des Motors schaltet hier ein Bimetallelement den Haltestrom des Motorschützes aus. Die Heizelemente kann man so anschließen, daß sie bei Stilllegung des Motors automatisch mit abgeschaltet werden. Bei der Übertemperaturschutzschaltung wird über ein Schaltthermometer im Warmluftstrom bei Überschreiten einer einstellbaren Temperatur, etwa bei 50°C (entsprechend feuerpolizeilichen Vorschriften für Außenluftsatztrockner), der Trockner abgeschaltet und eventuell ein Warnsignal auslöst. Während die Überstromschutzschaltung die Anlage gegen Defekte des elektrischen Antriebes sichern soll, stellt die Übertemperaturschutzschaltung eine Sicherung gegenüber Störungen in der Luftführung, etwa durch unbeabsichtigtes Zudecken der Ansaugöffnung dar. Beide Einrichtungen sollen nur ausschalten, nicht jedoch selbsttätig wieder einschalten.

Steuereinrichtungen, die einen bestimmten Betriebszustand aufrechterhalten sollen, stellen die nach der Zeit oder der Außenluftfeuchte bzw. der Korntemperatur gesteuerten Programmschaltwerke dar. So kann bei Außenluftsatztrocknern

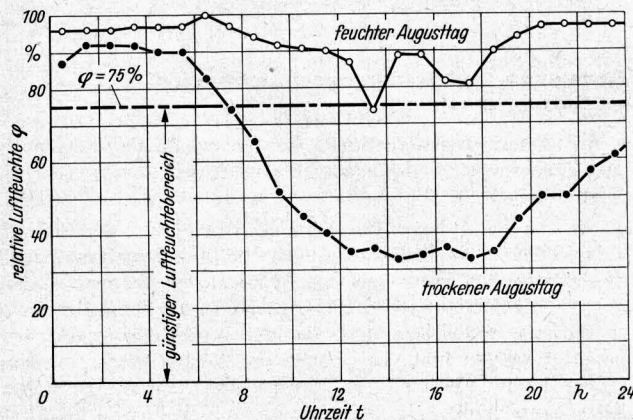


Bild 8. Relative Luftfeuchte als Funktion der Zeit für einen trockenen und einen feuchten Erntetag (Messung: Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braunschweig-Völkenrode).

die Betriebszeit des Gebläses durch Zeitschaltuhren so gesteuert werden, daß eine Belüftung nur in den Mittagsstunden erfolgt, wo man eine besonders niedrige Luftfeuchte erwarten darf. Wahlweise kann am Tage belüftet und bei Nacht ausgeschaltet werden, um Lärmbelastigungen und eine Wiederbefeuchtung des Getreides durch die Nachtluft zu vermeiden. Auch beliebige Unterprogramme für die Ausschaltzeit, beispielsweise eine alle 4 Stunden erfolgende, kurzzeitige Belüftung zum Kühlhalten von sehr feuchtem Getreide, lassen sich durch Zeitsteuerung einfach verwirklichen.

Zeitsteuerungen allein haben meist den Nachteil, daß sie nach statistisch gesicherten Erfahrungswerten eingestellt werden müssen, wonach beispielsweise zwischen 11⁰⁰ und 15⁰⁰ Uhr die Stunden der geringsten Luftfeuchtigkeit zu erwarten sind. **Bild 8** veranschaulicht, daß solche Annahmen im Einzelfall unzutreffend sein können. An einem trockenen Erntetag (untere Kurve) könnte man beispielsweise von 7⁰⁰ bis 24⁰⁰ Uhr mit Erfolg belüften, während an einem feuchten Erntetag (obere Kurve) die wünschenswerte Luftfeuchte von 75% auch in den Mittagsstunden praktisch nicht erreicht wird. Hier wäre es besser, die wichtigste Störgröße, also hier die veränderliche relative Luftfeuchtigkeit, zur Steuerung der Anlage heranzuziehen. Durch ein Schalthygrometer kann man bei Luftfeuchten von über 75% das Belüftungsgebläse stillsetzen oder eine Zusatzheizung einschalten. Bei Verwendung einer Zusatzheizung lassen sich mit einem Schalthygrometer mit zwei einstellbaren Kontakten drei Betriebszustände verwirklichen:

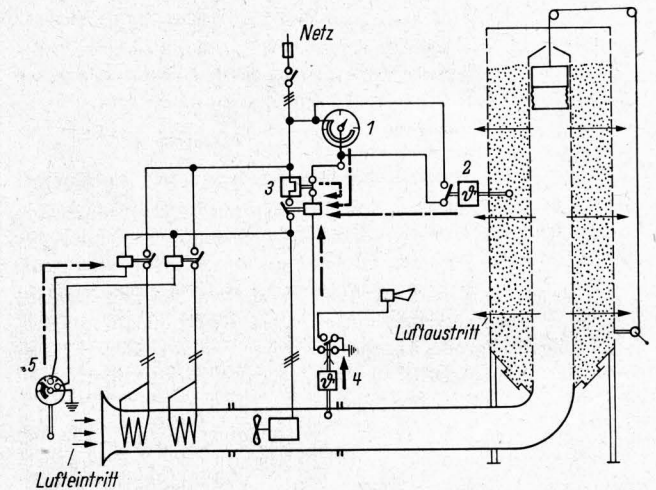


Bild 9. Steuerung eines Außenluft-Satztrockners.

- 1 zeitgesteuertes Schaltwerk
- 2 Schaltthermometer
- 3 Überstromschutzschalter
- 4 Übertemperaturschutzschalter
- 5 Schalthygrometer

1. Bei Luftfeuchten unterhalb des bei 75% relativer Feuchte eingestellten, unteren Grenzkontaktes fördert das Gebläse Außenluft in den Trockner.

2. Bei Luftfeuchten zwischen 75 und 85%, der Einstellung des oberen Grenzkontaktes, wird eine Heizstufe zugeschaltet, die für eine Temperaturerhöhung von 3°C ausgelegt ist. Hiermit läßt sich bei den zu erwartenden Außentemperaturen zwischen 10 und 30°C die Feuchte der Zuluft wieder auf unter 75% absenken, wie aus dem $i-x$ -Diagramm in Bild 2 ersichtlich ist.

3. Bei Luftfeuchten oberhalb 85% wird eine zweite Heizstufe zugeschaltet, so daß sich eine Temperaturerhöhung von 6°C und damit eine Luftfeuchteverringerng von etwa 30% ergibt.

Bild 9 zeigt schematisch die wichtigsten Steuerungseinrichtungen beim Außenluftsatztrockner. In der dargestellten Anordnung wirken ein zeitgesteuertes Schaltwerk 1, ein Überstromschutzschalter 3 und ein Übertemperaturschutzschalter 4 auf den Steuerstrom des Motorschützes ein. Die Heizungsschütze können nur betätigt werden, wenn das Motorschütz geschlossen ist. In diesem Fall kann ein Schalthygrometer 5 bei hoher relativer Luftfeuchte eines oder zwei Heizregister einschalten. Während der Ausschaltzeiten des Zeitschaltwerkes, z. B. über Nacht, kann bei Anstieg der Korntemperatur über einen Sollwert ein

Schalthermometer 2 den Zeitschalter überbrücken und die Belüftung freigeben. Eine ständige Regelung der Zulufttemperatur ist hier unnötig, da bei ungestörtem Betrieb der Anlage wegen der geringen Heizleistung keine hohen Lufttemperaturen auftreten können. Weitere, auch für den Außenluftsatztrockner mögliche Einrichtungen zur Steuerung der Verweilzeit oder der optimalen Luftführung werden beim nächsten Trocknertyp behandelt, für den sie größere Bedeutung haben.

Warmluftsatztrockner

Der Warmluftsatztrockner entspricht im apparativen Aufbau weitgehend dem Außenluftsatztrockner mit Zusatzheizung, jedoch sind Gebläse und Heizaggregat so ausgelegt, daß bei bis zu 8fach größerer Luftdurchsatzmenge je m³ Getreide und Stunde Temperaturen bis zu 50°C mit Sicherheit erreicht werden können. Durch diese Maßnahmen läßt sich die Trocknungszeit von einigen Tagen bis auf einige Stunden verkürzen. Die nötige Wärme wird hierbei wirtschaftlich durch Verbrennungsheizungen erzeugt. Vom Außenluftsatztrockner abweichende Regelungsprobleme ergeben sich durch die Verwendung von Verbrennungsheizungen, durch die höhere Temperatur und die kürzere Verweilzeit des Gutes.

Als Sicherheitseinrichtungen sind auch hier ein Überstromschalterschalter für den Gebläseantrieb und ein Übertemperaturschalterschalter im erwärmten Zuluftstrom notwendig. Bei Öl-Zerstäuberbrennern wird über eine Fotozelle die Ölzufuhr gesperrt, wenn außerhalb der Zündzeiten keine Flamme brennt.

Die Luftgeschwindigkeit wird durch die Fördercharakteristik des mit konstanter Drehzahl laufenden Gebläses und den Widerstand des gefüllten Trockners vorgegeben, ebenso wird der Feuchtegrad der Luft durch den Außenluftzustand bestimmt. Der Betriebszustand kann daher im wesentlichen nur durch die Regelung der Warmlufttemperatur beeinflusst werden, die nach dem Gutsfeuchtegrad und der hierbei zulässigen Korntemperatur auszuwählen ist. Der Sollwert der Temperatur wird an einem Schalthermometer eingestellt, dessen Fühler im Warmluftstrom möglichst nahe dem Trocknereingang liegt. Für das vorliegende Regelungsproblem ist meist eine Zweipunktregelung ausreichend.

Da die relative Feuchte der Warmluft, je nach Außenluftzustand, zwischen 10% und 40% liegt, was einem Gleichgewichtszustand des Gutes von $X = 0,08$ bis $0,14$ kg/kg entspricht, kann der gewünschte Endfeuchtegrad von $0,19$ kg/kg nur durch Begrenzung der Warmbelüftungszeit, d. h. der Verweilzeit des Gutes im Warmluftstrom, erreicht werden. Eine genaue Verweilzeitbegrenzung ist somit zur Qualitätserhaltung und zur günstigen Ausnutzung von Energie und Trocknungsraum wünschenswert. Dieses läßt sich regelungstechnisch auf zwei verschiedenen Wegen erreichen:

Beim ersten Verfahren wird die benötigte Warmbelüftungszeit entsprechend dem Anfangsfeuchtegrad des Getreides nach Herstellerangaben ermittelt und an einem Zeitschaltwerk eingestellt. Dieses schaltet nach der gewählten Betriebszeit das Heizaggregat und, nach einer ebenfalls einstellbaren Kühlzeit, das Gebläse ab. In die Warmbelüftungszeit gehen die Zulufttemperatur, der Feuchtegrad der angesaugten Außenluft sowie die durchgesetzte Luftmenge je kg Getreide und Stunde als Parameter ein. Die letztere ist in erster Linie vom Gebläsetyp, außerdem von der Bauart und Füllung des Silos abhängig. Als Beispiel zeigt Bild 10 links ein Diagramm zur Bestimmung der Trocknungszeit nach der Gutsfeuchte, das den Einfluß der Zulufttemperatur und verschiedener Ventilatorarten berücksichtigt. Mit der rechten Darstellung kann der Ölverbrauch für verschiedene Zulufttemperaturen und Ventilatorarten abgeschätzt werden. Beiden Diagrammen liegen mittlere Außenluftbedingungen zugrunde; bei Abweichungen hiervon muß mit Zuschlägen gerechnet werden. Es ist zwar grundsätzlich möglich, zusätzlich den Außenluftzustand in einem Tabellen- oder Nomogrammsystem zu berücksichtigen, aber auch dann können sich noch Sorte und Reifezustand sowie die Lagerungsdichte des Trocknungsgutes in nichtkontrollierbarer Weise auf die erforderliche Trocknungszeit auswirken. Diese bleibt in jedem Falle ein Schätzwert.

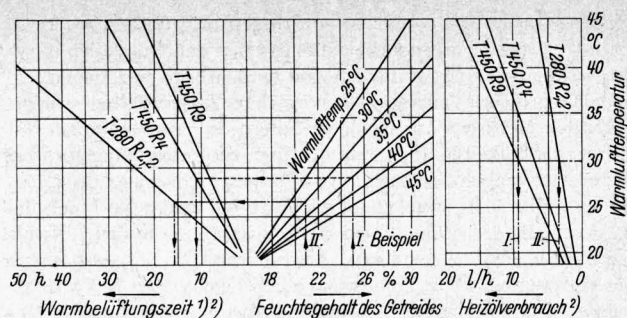


Bild 10. Ermittlung der Trocknungszeit und des Heizölverbrauchs für Warmluftsatztrockner (Werksnorm Fa. H. u. W. Fritzen, Coesfeld).

Gebläsetyp	Luftdurchsatz m ³ /h	statischer Druck kp/m ²
T 450 R 9	18 000	140
T 450 R 4	11 000	100
T 280 R 2,2	6 000	80

1) zum Trocknen von 5000 kg feuchtem Getreide auf den Feuchtegehalt $U = 16\%$ ($X = 0,19$ kg/kg)

2) Außenluftzustand: 15°C und 75% rel. Luftfeuchte. Kaltbelüftungszeit 1 bis 2 h.

Beim zweiten Verfahren zur Ermittlung der Warmbelüftungszeit wird der Feuchtegrad des Gutes stetig gemessen. Ein Steuergerät schaltet nach Erreichen einer vorgegebenen Endfeuchte das Heizaggregat ab. Da eine kontinuierliche Messung des Feuchtegrades am Getreidekorn, etwa mit einer dielektrischen, konduktiven oder radioaktiven Meßmethode, sich gegenwärtig noch nicht betriebssicher und mit vertretbarem Aufwand durchführen läßt, wird der vom Getreidefeuchtegrad abhängige Zustand der Abluft zur Feuchtemessung herangezogen. Bild 11 stellt die relative Luftfeuchte und -temperatur für zwei Meßstellen an der Luftaustrittsseite eines Zentralrohrsilotrockners dar. Bei der üblichen Warmluftsatztrocknung wandert eine begrenzte Trocknungszone von der Luftertrittsseite her durch die Guttschicht. Bei ihrer Ankunft an der Luftaustrittsseite des Trockners fällt die relative Luftfeuchte dort auf einen Gleichgewichtswert entsprechend dem Getreidefeuchtegrad ab, während die Ablufttemperatur auf den Eintrittswert ansteigt. Das Bild zeigt, daß spürbare Abweichungen der Größen von ihren konstanten Anfangswerten am oberen Trocknerende etwa eine Stunde früher bemerkbar sind als bei einer untenliegenden Meßstelle. Ähnliche Unterschiede ergeben sich zwischen radial verteilten Meßstellen. Die Änderung ist bei der relativen Luftfeuchte stärker ausgeprägt als bei der Temperatur. Inhomogenitäten in der Guttschüttung und eventuell ungleichmäßige Luftführung in den Luftkanälen des Trockners lassen also die Trocknungszone

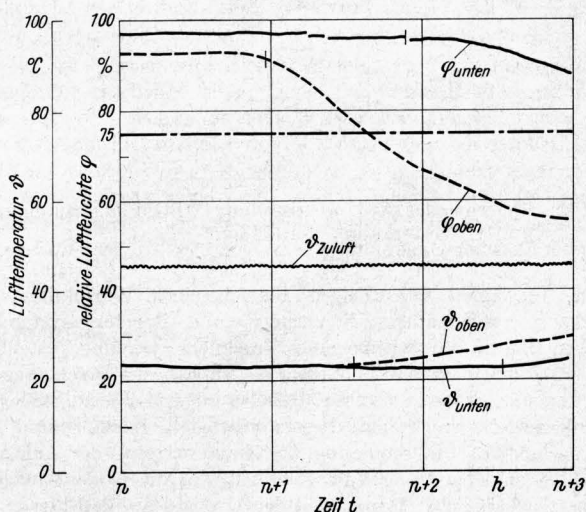


Bild 11. Abluftfeuchte und Ablufttemperatur gegen Ende der Warmluftsatztrocknung (Messung: DLG-Prüfstelle Braunschweig-Völkensrode).

an der einen Stelle schneller vordringen als an einer anderen. Da ein gewisser Feuchteausgleich zwischen den Gutsteilen ohnehin während der Lagerung erfolgen muß, würde es genügen, ein Schalthygrometer an einer das mittlere Zeitverhalten wiedergebenden Meßstelle anzubringen. Sofern die Abweichungen mit Unregelmäßigkeiten in der Schüttung zusammenhängen, wird dieser Ort jedoch wechseln. Eine bessere Erfassung des Meßwertes ergibt sich, wenn man, wie etwa bei einem Rechtecksilobrockner mit Abluftkanal, den Hygrometerfühler in den Gesamtabluftstrom einbringen kann. Als Sollwert für das Abschalten des Heizaggregates ist eine relative Luftfeuchte von 75% zweckmäßig. Die praktische Anwendung dieses Steuerungssystems wird dadurch erschwert, daß die verfügbaren Feuchtemeßsysteme, wie Haarhygrometer, LiCl-Fühler, Psychrometer verhältnismäßig sorgfältiger Wartung oder Nacheichung bedürfen.

Auf die Warmbelüftungsperiode muß bei den hier auftretenden Temperaturen eine Kühlperiode folgen, um die durch die Speicherwärme der Körner austretende Feuchte abzuführen. Das Ablufthygrometer muß also das Heizaggregat ausschalten und ein Zeitschaltwerk in Gang setzen, das, je nach Gebläsegröße und Füllmenge, nach ein bis zwei Stunden das Gebläse stillsetzt und damit den Trocknungsvorgang beendet.

Während des Trocknens verringert sich die Höhe der Getreideschüttung um bis zu 25%. Daher ist es notwendig, die obere Abdichtung des Frischluftkanals (Blähkolben oder Jalousie) zu verstellen, um ein Ausblasen der Luft oberhalb der Getreideschüttung zu verhindern.

Bild 12 zeigt die Ausführung einer selbsttätigen Blähkolbensteuerung durch Seilzüge entsprechend dem Getreidespiegel. Zusammen mit dem Getreidespiegel sinkt eine Tastplatte 2 ab und gibt damit eine entsprechende Seillänge frei, um die der Blähkolben 1 durch sein Eigengewicht nach unten gezogen werden kann. Der der Schichtdicke entsprechende Abstand *a* zwischen dem unteren Blähkolbenrand und dem Getreidespiegel bleibt somit erhalten.

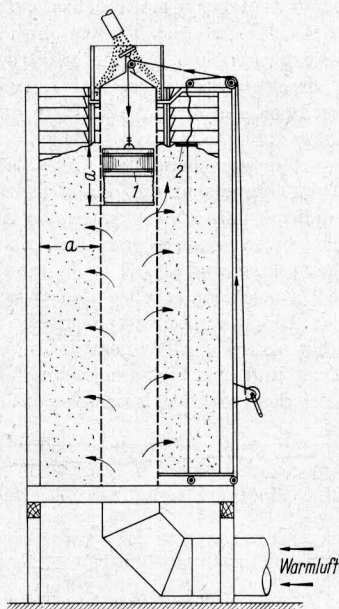


Bild 12. Steuerung der Blähkolbenstellung (DBGM Fa. Dammann u. Westerkamp, Norddöllen/Vechta).
1 Blähkolben 2 Tastplatte

Die für einen selbsttätigen Betrieb eines Warmluftsatztrockners zweckmäßigen Steuer- und Regelungssysteme sind in **Bild 13** am Schema eines Trockners zusammengestellt. Die mit Pfeilen versehenen Linien stellen hier die Befehlswege der einzelnen Steuerketten dar. Dabei werden Meßglied, Steuer- oder Regelgerät und Stellglied getrennt wiedergegeben. System 1 veranschaulicht die Steuerung des Gesamtstroms der Anlage durch einen Überstromschutzschalter I, der die Gesamtanlage stillsetzen kann. Der Doppelpfeil deutet dabei an, daß hier ein Sicherheitsschalter vorliegt, der nach Beseitigung der Störung nicht selbsttätig wieder einschaltet. Die Übertemperaturschutzschaltung 2 schaltet bei Überschreitung einer bestimmten Tem-

peratur die Gesamtanlage aus und löst ein akustisches Signal aus. Der Temperaturregelkreis 3 hält durch Ein- und Ausschalten des Brenners die Zulufttemperatur konstant. Zwischen Ölzufuhrventil und Temperaturfühler 3 liegt die Regelstrecke, in welcher der vom Regler auf Grund der Messung des Fühlers ausgegebene Regelbefehl über das Stellglied wieder auf die Meßstelle zurückwirkt und somit u. U. den nächsten Regelvorgang auslöst. Der

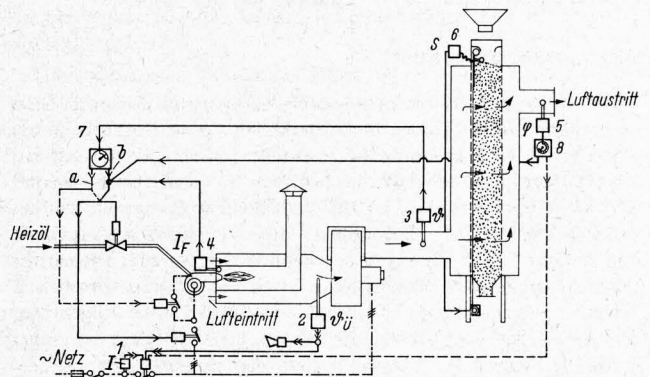


Bild 13. Steuerung und Regelung eines Warmluftsatztrockners.

- 1 Steuerung des Gesamtstromes durch einen Überstromschutzschalter I
- 2 Übertemperaturschutzschaltung
- 3 Temperaturfühler
- 4 photoelektrischer Flammenwächter
- 5 Verweilzeitbegrenzungsschaltung
- 6 Nachführung der Jalousie für die Abdichtung am oberen Trocknerende
- 7 zeitgesteuertes Startrelais
- 8 Zeitschaltwerk für die Kühlung

Betrieb des Zerstäuber-Ölbrenners erfordert noch das Zwischenschalten eines hier zeitgesteuerten Startrelais 7 und einer photoelektrischen Sicherung gegen Ausfluß unverbrauchten Öls bei Defekten. Während einer kurzen Startzeit sind Brennerantriebsmotor, Magnetventil und Zündung der Funkenstrecke über den Befehlsweg *a* in Betrieb. Nach Ablauf dieser Zeit wird auf den Befehlsweg *b* umgeschaltet. Hier sind Motor und Ölzufuhr in Betrieb, wenn nicht der photoelektrische Flammenwächter 4 oder die Verweilzeitbegrenzungsschaltung 5 einen Abschaltbefehl geben. Zur Verweilzeitbegrenzung liegt ein Hygrometer im Auslaßstutzen des hier wiedergegebenen Abluftkastens. Es schaltet nach Abfallen der relativen Luftfeuchte auf 75% über ein Zeitschaltwerk sofort den Brenner und nach einer am Zeitschaltwerk 8 einstellbaren Kühlzeit die Gesamtanlage aus. Die Luftführung am oberen Trocknerende wird in unserem Bild durch Nachziehen einer Jalousie durch einen Stellmotor 6 gesteuert. Ein Kontaktfühler tastet dabei die Lage des Getreidespiegels ab.

Durchlauftrockner

Der Durchlauftrockner, meist für größere Leistungen ausgelegt als die beiden anderen Typen, erfordert wegen des stetigen Materialdurchflusses und der geringeren Verweilzeit des Gutes ein größeres Maß an Überwachung als die beiden anderen Trocknertypen. Die Automatisierung des Verfahrensablaufes ist also hier besonders erstrebenswert. Sie fällt aber wegen der größeren Einheiten kostenmäßig weniger ins Gewicht als in den vorgenannten Fällen.

Hinsichtlich der Sicherheitseinrichtungen und der Zulufttemperaturregelung treten die gleichen Regelaufgaben auf wie beim Warmluftsatztrockner. Die Luftgeschwindigkeit im Trockner wird durch eine konstante Gebläsedrehzahl und durch von Hand einstellbare Verteilerklappen fest vorgegeben.

Der Endfeuchtegrad wird durch Steuern der Verweilzeit des Gutes im Trockner beeinflusst. Das Getreide durchläuft in großen Schachttrocknern zunächst eine Anwärmzone mit Kontaktbeheizung ohne Belüftung, dann die warmbelüftete Trocknungszone und zuletzt die von Außenluft durchströmte Kühlzone. Die Einzelverweilzeiten sind den Volumina der einzelnen Zonen proportional, die Gesamtverweilzeit wird durch spezielle Auslauforgane, wie waagerechte Rüttelbalken, Zellenradschleusen oder Auslaufschnecken, gesteuert. Dabei werden Auslaufspalt-

breite, Schwingungsamplitude, Antriebsdrehzahl oder das Verhältnis von Arbeitszeit zur Ruhezeit dieser Organe verändert. Die Einstellskalen können in Durchsatzmenge pro Stunde geeicht werden. Aus entsprechenden Zahlentafeln in der Betriebsanleitung kann, ausgehend vom Anfangsfeuchtegrad, der Zulufttemperatur und den bei der Warmluftsatztrocknung besprochenen Parametern, die zur Erzielung eines gewünschten Endfeuchtegrades notwendige Durchsatzmenge ermittelt werden.

Wegen der kurzen Verweilzeiten von etwa einer Stunde wäre eine Verweilzeitregelung direkt nach dem Gutsfeuchtegrad besonders wünschenswert. Sie ist jedoch mangels eines genügend einfachen Meßprinzips nur in Sonderfällen möglich. So läßt sich bei Vakuumkontakttrocknung [7] ein Zusammenhang zwischen dem Gutsfeuchtegrad und der Gutstemperatur bei konstanter Heizflächentemperatur nachweisen. Mit kleiner werdender Verdampfungsgeschwindigkeit bei niedrigem Feuchtegrad nimmt die Temperatur zu. Hier könnte also eine Gutstemperaturmessung am Ausgang der Trocknungszone zur Verweilzeitregelung dienen.

Beim Warmluftdurchsatztrockner ist eine Verweilzeitregelung entsprechend der relativen Feuchte der Abluft am Ende der Trocknungszone denkbar. Die Luft ist hier noch nicht gesättigt, so daß man wegen der niedrigen Luftfeuchte genauer messen muß als bei der Warmluftsatztrocknung.

Um eine einwandfreie Luftführung sicherzustellen und das Gut gleichmäßig behandeln zu können, muß der Durchlauf-trockner, abgesehen vom Anfahr- und Auslaufzustand, vollständig gefüllt gehalten werden. Als Störgrößen treten Unregelmäßigkeiten in der Zuführung und eine mögliche Änderung der Auslauf-einstellung auf. Den eigentlichen Aufbereitungszonen wird daher meist eine Pufferzone vorgeschaltet. Ein oberer Grenzkontakt regelt den Höchststand des Getreidespiegels durch Ein- und Ausschalten des Zubringerorganes, z. B. eines Förderbandes oder einer Transportschnecke. Ein unterer Grenzkontakt löst bei vollständiger Leerung der Pufferzone ein Warnsignal aus. Ähnliche Einrichtungen sind bei längerem, unbeaufsichtigtem Betrieb der Anlage auch für den Abtransport und die Lagerung des Trockengutes zweckmäßig.

Bild 14 veranschaulicht das Zusammenwirken der Regeleinrichtungen an einem Durchlauf-trockner. Die Positionen 1 bis 4 geben, wie beim Warmluftsatztrockner, die Überstromschutzsteuerung, die Übertemperaturschutzsteuerung, den Zulufttemperaturregelkreis und die Flammenüberwachungssteuerung

Tafel 1. Übersicht über die Steuerungs- und Regelungssysteme an Getreidetrocknern.

Grundaufgabe	Steuerungs-(St) und Regelungssysteme (R) an Getreidetrocknern		
	Außenluft-Satztrockner	Warmluft-Satztrockner	Durchlauf-trockner
Sicherung der Anlage	Überstromschutz (St) Übertemperaturschutz (St)	Überstromschutz (St) Übertemperaturschutz (St) Flammenüberwachung (St)	Überstromschutz (St) Übertemperaturschutz (St) Flammenüberwachung (St)
Einhalten der zulässigen Korn-temperatur		Lufttemperaturregelung (R)	Lufttemperaturregelung (R) Heizflächentemperaturregelung (R) (bei Vakuum-Kontakt-trocknern)
Einhalten des gewünschten Endfeuchtegrades bzw. der hierzu nötigen Verweilzeit	[Zeitsteuerung für Belüftungsdauer (St)]	Zeitsteuerung für Warmbelüftungsdauer und Kühlung (St)	Durchflußmengensteuerung durch Zeitgeber (St) Durchflußmengenregelung (R)
Einhalten eines günstigen Betriebszustandes	Steuerung der relativen Feuchte der Zuluft a) nach der Tageszeit (St) b) nach der Außenluftfeuchte (St)	Steuerung der Blähkolben bzw. Jalousie-stellung (St)	Regelung der Trocknerfüllung (R)

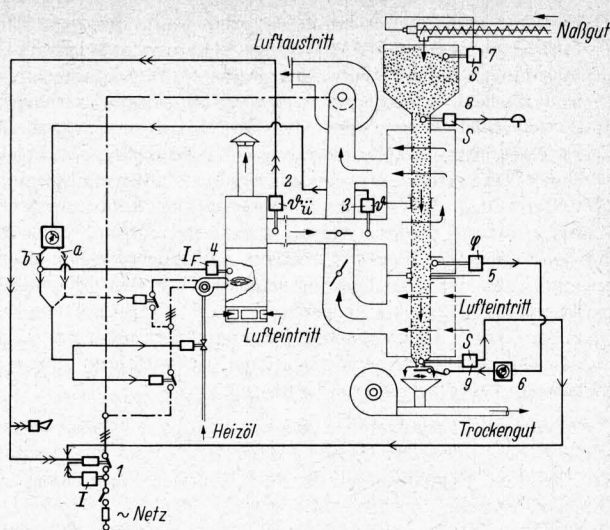


Bild 14. Steuerung und Regelung eines Durchlauf-trockners.

- 1 Überstromschutzsteuerung
- 2 Übertemperaturschutzsteuerung
- 3 Zulufttemperaturregelkreis
- 4 Flammenüberwachungssteuerung
- 5 Regelkreis zum Konstanthalten der Endfeuchte über die Regelung der Verweilzeit
- 6 Zeitgeber
- 7 Füllstandsregelung
- 8 Signalgeber für Unterbrechung des Materialzufflusses
- 9 Kontaktsteuerung für Abschalten des entleerten Trockners

an. Unter 5 befindet sich ein Regelkreis, der den Endfeuchtegrad über die Regelung der Verweilzeit des Gutes konstant hält. Ein Fühler mißt die Abluftfeuchte am Ende der Trocknungszone; der zugehörige Regler verstellt bei Abweichungen vom Sollwert das Verhältnis von Einschaltzeit zu Ausschaltzeit des Zeitgebers 6. Dieser steuert den Antriebsmotor eines Rüttelbalkens und somit die ausfließende Getreidemenge. Liegt beispielsweise die gemessene Luftfeuchte über dem Sollwert, so wird die Einschaltzeit des Rüttelmotors verkürzt. Das Getreide bleibt dadurch länger in der Trocknungszone und wird weiter ausgetrocknet; die Luftfeuchte an der Meßstelle verringert sich. Es liegt also eine Rückwirkung der Verstellung auf die Meßstelle, mithin ein Regelkreis vor. Das Zeitschaltwerk kann auch allein mit fest eingestellter Einschaltzeit als Verweilzeitsteuerung arbeiten. Die Füllstandsregelung 7 sichert die Trocknerfüllung gegenüber unregelmäßiger Materialentnahme am Ausfluß, wie sie sich bei einer Verweilzeitregelung notwendigerweise ergibt, und ungleichmäßigem Materialzustrom durch die Naßgutschnecke. Bleibt der Materialzufluß über längere Zeit hinweg völlig aus, löst die Kontaktsteuerung 8 ein Warnsignal aus. Über die Kontaktsteuerung 9 wird der völlig entleerte Trockner ausgeschaltet. Ähnliche Steuerungen sind auch zum Abschalten der Warmbelüftung nach Entleeren der Warmbelüftungszone möglich.

In der Praxis wird bisher ausschließlich mit Verweilzeitsteuerung gearbeitet. Hier können zwei wesentliche Störgrößen, nämlich der wechselnde Feuchtegrad der Außenluft und der wechselnde Feuchtegrad des Naßgutes, das bei Großanlagen oft aus verschiedenen Anlieferungen stammt, nicht in die Verweilzeitsteuerung eingeplant werden. Daher ist hier eine regelmäßige Probenahme und Feuchtemessung beim Trockengut mit nachfolgender Korrektur der Durchflußmengeneinstellung erforderlich.

Schlußbemerkungen

Die behandelten Einrichtungen zur Steuerung und Regelung bei den drei Getreidetrocknertypen sind in **Tafel 1** systematisch zusammengefaßt. Sie können nur als Beispiele für die Anwendung regelungstechnischer Methoden an Getreidetrocknern dienen. Hinsichtlich der Meßglieder, der Regelungs- bzw. Steuerungsgeräte und der Stellglieder und vor allem hinsichtlich der Zuordnung der einzelnen Steuerketten und Regelkreise zueinander gibt es zahlreiche andere Möglichkeiten, die für spezielle Fälle besser geeignet sein können.

Schwierigkeiten treten vor allem dabei auf, ein geeignetes Verfahren zur Messung der Regelgröße, etwa bei der Endfeuchtegradregelung zu finden. Hier werden gewisse Anforderungen an die Reproduzierbarkeit, besonders aber an die Betriebssicherheit und die Herstellungskosten der Meßeinrichtungen gestellt. Feuchtemessungen an Getreide durch Trocknung oder auf elektrischem Wege erfordern normalerweise ein Mahlen und genaues Abwiegen einer Gutsprobe. Dieses ist bei kontinuierlicher Messung nur mit großem Aufwand zu verwirklichen. Auch die indirekte Messung über die relative Luftfeuchte ist insofern ungenau, als der Gleichgewichtszustand bei den Warmlufttrocknern nicht abgewartet werden kann. Weiterhin stehen mit Haarhygrometer, Psychrometer, Taupunkthygrometer und LiCl-Fühler keine völlig unproblematischen Meßverfahren für wartungsfreien Dauerbetrieb zur Verfügung.

Auf Anwendungsgebieten, auf denen sich funktionssichere und billige Fühler herstellen lassen, wie bei der Temperaturmessung, hat sich die Regelungstechnik auch im Getreidetrocknerbau längst vollständig durchgesetzt.

DK 664.8.047

Bewertungsmerkmale als Hilfe bei der Ermittlung des Gebrauchswertes von Landmaschinen am Beispiel der Getreidetrocknerprüfung

Von **Walter Metzenthin**, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

Die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft ermittelt an Hand von Untersuchungen und Beobachtungen den Gebrauchswert von Landmaschinen. Das Verfahren, nach dem die Gebrauchswertprüfung durchgeführt wird, sieht für jede Maschinenart sogenannte Bewertungsmerkmale (Funktionelle Leistung, Energiebedarf, Arbeitsbedarf, Betriebssicherheit, Haltbarkeit u. ä.) vor, die einzeln untersucht und bewertet werden. Die Ergebnisse der Untersuchung der einzelnen Merkmale haben für die Urteilsfindung eine unterschiedliche Wertigkeit, die vor der Erteilung des Prädikats „DLG-amerkannt“ sorgfältig gegeneinander abgewogen und in einem Prüfbericht niedergelegt werden. Dabei sind die landwirtschaftlichen Belange und der jeweilige Stand der technischen Entwicklung der geprüften Maschinenart weitgehend zu berücksichtigen. Am Beispiel der Prüfung von Getreidetrocknern wird darzulegen versucht, welche Einflüsse die Wertigkeit der Merkmale festlegen bzw. verändern können.

Seit 1958 wurden von der DLG-Prüfstelle für Landmaschinen in Braunschweig-Völkenrode 37 Getreidetrockner unterschiedlicher Bauart, vornehmlich für den Einsatz in der Landwirtschaft, geprüft. Prüfberichte wurden veröffentlicht über

- 2 Belüftungstrockner mit Bodenbelüftung,
- 4 Belüftungstrockner mit Zentralrohrbelüftung,
- 4 Warmluftstrockner (Rundbehälter mit Zentralrohr) und
- 5 Durchlaufstrockner.

Die Untersuchung der Trockner führte teilweise zu entscheidenden konstruktiven Änderungen und zur Nachprüfung der geänderten Konstruktion. Bei diesen Trocknern wird nur das Ergebnis der letzten Prüfung veröffentlicht. Die Prüfberichte sollen der Landwirtschaft möglichst umfassend den Gebrauchswert der Trockner vermitteln.

Wie bei der Gebrauchswertprüfung anderer Landmaschinen ist vom DLG-Prüfungsausschuß gemeinsam mit den Mitar-

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

Obering. Walter Metzenthin ist Leiter der Prüfstelle für Landmaschinen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft in Braunschweig-Völkenrode.

Schrifttum

- [1] *Krischer, O.*: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. 2. Aufl. Berlin: Springer-Verlag 1963, Tafel IV.
- [2] *Dencker, C. H.*: Handbuch der Landtechnik. Hamburg und Berlin: Verlag P. Parey 1961, S. 738.
- [3] *Sprenger, J.*: Einige Aspekte der Getreidetrocknungsanlagen. OEEC-Bericht über die Studententagung „Getreidetrocknung“. 3. 9. bis 3. 10. 1953; S. 27.
- [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] DIN 19226 Regelungstechnik, Benennungen, Begriffe. Januar 1954.
- [6] *Oppelt, W.*: Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge. 3. Aufl. Weinheim: Verlag Chemie 1960.
- [7] *Penndorf, F.*: Fortschritte in der Regeltechnik bei Vorbereitung und Trocknung. Mühle **100** (1963) H. 43, S. 468/72.

beitern der DLG-Prüfstelle ein Prüfverfahren aufgestellt worden. Dieses Prüfverfahren berücksichtigt die Ergebnisse von Forschungsarbeiten über die Körnertrocknung, gesetzliche oder andere Bestimmungen und die in der Landwirtschaft und der Prüfungspraxis gesammelten Erfahrungen. Im einzelnen sind dies Erkenntnisse über Mindestluftmengen, Trocknungszeiten, Feuchteverteilung und Lagerfähigkeit des Getreides, die Vorschriften der Einfuhr- und Vorratsstelle über Höchsttemperaturen im Getreide und die Sicherheitsvorschriften der Baubehörden, des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) und der Technischen Überwachungsvereine (TÜV), verankert in den „Richtlinien für den Bau und die Einrichtung von Zentralen Heizräumen und ihren Brennstofflagerräumen (Heizraumrichtlinien)“ und in den „Richtlinien für Bau, Aufstellung und Betrieb von Warmlufttrocknungsanlagen für Getreide und dergl.“, z. B.:

1. Korntemperaturen über 40° bzw. 36° (je nach Feuchtegehalt) dürfen bei Konsum- oder Saatgetreide in keinem Fall auftreten,
2. Mindestluftmengen von 300 bis 1000 m³ Luft je m³ Getreide und Stunde sind, je nach Trocknerbauart und Feuchte im Korn, aufzubringen,
3. mittlere Endfeuchtegehalte von 16% zum Verkauf bzw. 14% zur Einlagerung müssen durch die Trocknung sicher erreichbar sein,
4. höchstens 10% der nach der Trocknung entnommenen Proben dürfen mehr als 16% Feuchtegehalt aufweisen und
5. Trocknungszeiten von höchstens 10 Tagen (bei einem Ausgangsfeuchtegehalt bis zu 22%) bzw. 6 Tagen (bei einem Ausgangsfeuchtegehalt über 22%) dürfen bei der Belüftungstrocknung nicht überschritten werden.

Das Prüfverfahren sieht vor, daß von der Prüfstelle Untersuchungen der Trockner durchgeführt werden, durch welche für eine Reihe von „Bewertungsmerkmalen“ Einzelergebnisse und -werte ermittelt werden, die dem Prüfungsausschuß die Beurteilung des Gebrauchswertes ermöglichen. Die Bewertungsmerkmale bei Getreidetrocknern sind:

Trocknungsleistung,
Höchstwärme im Trocknungsgut,
Zustand des getrockneten Getreides,