

1. Aufgabenstellung

Die Heißlufttrocknung landwirtschaftlicher Produkte hat sich besonders im vergangenen Jahrzehnt beachtlich entwickelt.

Der erzielbare Gewinn eines Trockenwerkes ist stark von der Qualität des Trockengutes abhängig, die von der Frischgutqualität und von der korrekten Trocknungsführung bestimmt wird. Forschungsarbeiten im Rahmen der Tierernährung ergaben, daß insbesondere der Wassergehalt des Trockengutes und die Verdaulichkeit des Eiweißes korrelieren, weil durch die gemeinsame Ursache „Überhitzung“ einerseits die Eiweißstruktur geschädigt wird und andererseits eine Übertrocknung stattfindet. In der DDR wurde aufgrund dieser Zusammenhänge der Wassergehalt als qualitätsbestimmendes Merkmal in die „Anordnung über den Einkauf und den Handel mit Trockengrün“ aufgenommen. Die beste Qualitätsklasse erfordert 86 bis 92 Prozent Trockensubstanzgehalt.

Die Einhaltung der Toleranzen ist jedoch problematisch:

- Übertrocknetes Gut läßt sich mit großer Betriebssicherheit erzeugen,
- beim Anwachsen des Wassergehaltes auf etwa 9 bis 10 Prozent beginnen Schwierigkeiten in der Hammermühle, falls gemahlen wird;
- erst bei über 12 Prozent Wassergehalt können einwandfreie Preßlinge hergestellt werden.

Diese Zusammenhänge erfordern die Einhaltung enger Toleranzen für den Wassergehalt (Bild 1).

Der Automatisierung des Trocknungsprozesses fallen dabei bekanntlich vor allem folgende Aufgaben zu:

- Erhaltung der Trockengutqualität durch Erreichen eines weitgehend gleichbleibenden Betriebsablaufes und Einhalten der Wassergehaltstoleranzen;
- maximale Auslastung der Anlage durch möglichst enges Herangehen an die höchstzulässigen Betriebsparameter;
- maximale Betriebssicherheit durch gleichmäßigen Trocknungsbetrieb, Vermeiden von Havarien;
- Entlastung des Trockenmeisters von der ständigen Kontrolle der Meßinstrumente und der große Erfahrungen erfordernden Trocknerführung.

(Schluß von Seite 488)

melandrehung viermal abrieselt. Damit läßt sich die verstärkt aufgetretene Verklutung der Hackfruchtschnitzel, die zu den hohen Verweilzeitschwankungen führte, erklären.

Zusammenfassung

Die dargelegten Untersuchungen tragen dazu bei, das Förderverhalten landwirtschaftlicher Trommeltrockner weiter zu ergründen. Die kleinsten Verweilzeiten und die geringsten Verweilzeitschwankungen und damit die gleichmäßigsten Trocknungsbedingungen hatte bei Einsatz von Grünfutter der Dreizugtrommeltrockner aufzuweisen. Die nachgewiesenen hohen Verweilzeitschwankungen bei Einsatz von Hackfruchtschnitzeln im Trockner mit Hubschaufeln und Staublenden führen zu der Aussage, daß dieser Trocknertyp sich weniger gut zur Trocknung von Hackfrüchten als zur Trocknung von Grünfutter eignet.

Literatur

[1] Rettig, H. / Dräger, J.: Verweilzeitmessung an Trommeltrocknern der Landwirtschaft mit radioaktiven Nukliden. Deutsche Agrartechnik 20 (1970) H. 3, S. 149 bis 151. A 8112

Zur Lösung dieser Aufgaben wurden neben theoretischen Untersuchungen praktische Versuche mit selbst zusammengestellten und industriell projektierten Regeleinrichtungen an verschiedenen Trocknungsanlagen angestellt, in deren Ergebnis sich das Wissen über das Regelverhalten landwirtschaftlicher Trommeltrockner stark erweiterte. Im folgenden werden daraus einige theoretische Zusammenhänge und die Erfahrungen von einem automatisierten Trommeltrockner vermittelt.

2. Einige grundlegende Eigenschaften der Regelstrecke „Trommeltrockner“

2.1. Statisches Verhalten

Die statischen Kennlinien des Gleichstromtrocknungsprozesses stellen die Antwort der Austrittsgrößen des Trockners auf verschiedene Eintrittsgrößen dar. Am wichtigsten für die Automatisierung des Trocknungsprozesses sind die Zusammenhänge zwischen

- Heißlufttemperatur,
- Frischgutdurchsatz und
- Ablufttemperatur.

Bild 2 beschreibt die statischen Kennlinien des Zusammenhangs zwischen Trocknungslufttemperatur und Ablufttemperatur mit dem Verhältnis Gutdurchsatz : Luftstrom als

Bild 1. Qualität des Trockengutes und Betriebssicherheit in Abhängigkeit von der Trockengutfeuchte (schematisch)

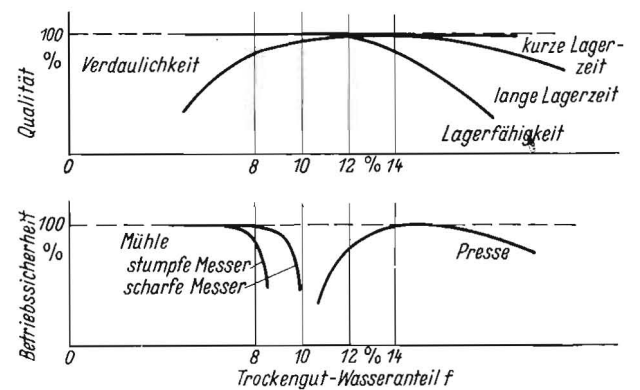
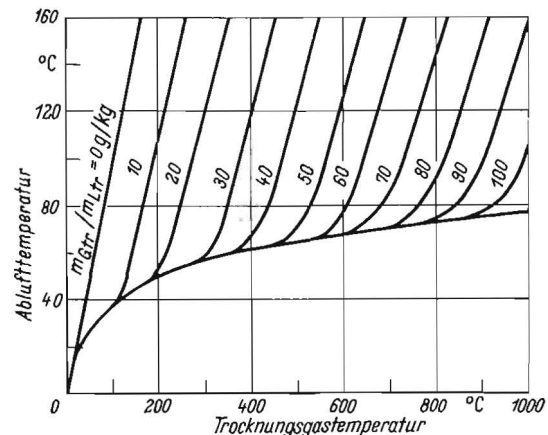


Bild 2. Statische Kennlinien der Regelstrecke Trocknungslufttemperatur-Ablufttemperatur; Gleichstromtrocknung, Gleichgewicht zwischen Trockengut und Abluft, $f_0 = 80\%$



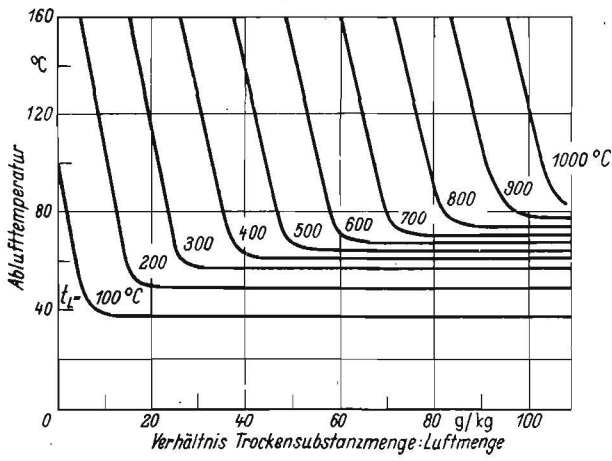


Bild 3. Statische Kennlinien der Regelstrecke Guldurchsatz-Ablufttemperatur; Gleichstromtrocknung, Gleichgewicht zwischen Trockengut und Abluft, $f_a = 80\%$

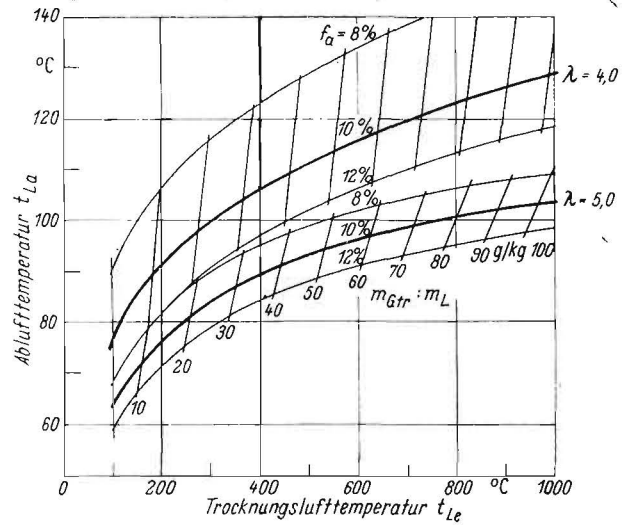


Bild 4. Trockengutfeuchte f_a und Ablufttemperatur t_{La} ; Störgröße, t_{Le} ; Stellgröße $m_{Gtr}:m_L$, $\lambda_e = 4,0$

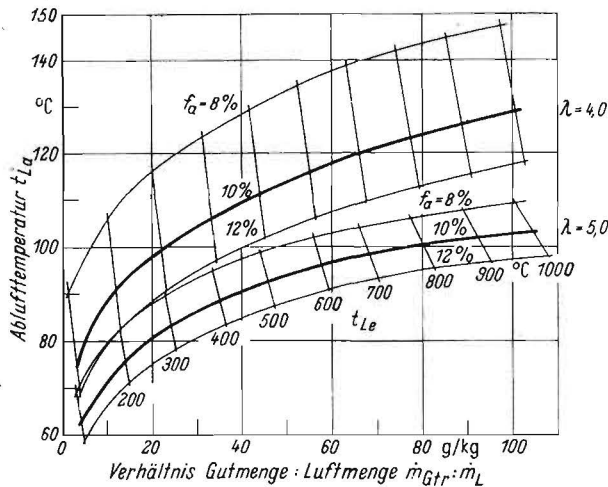


Bild 5. Trockengutfeuchte f_a und Ablufttemperatur t_{La} ; Störgröße $m_{Gtr}:m_L$, Stellgröße t_{Le}

Parameter für vollständigen Ausgleich. Die Linien sind bei höheren Ablufttemperaturen weitgehend linear und verhältnismäßig steil. Nach unten münden alle Kennlinien asymptotisch in die Sättigungslinie $\varphi_L = 1$ ein. Dabei vermindert sich die Steilheit beträchtlich.

Die dargestellten Zusammenhänge sind dann von Bedeutung, wenn die Ablufttemperatur mit Hilfe des Brennstoffdurchsatzes konstant gehalten werden soll.

Bild 3 zeigt die statischen Kennlinien des Zusammenhangs zwischen Guldurchsatz und Ablufttemperatur; Parameter ist hier die Trocknungslufttemperatur. Die Linien haben fallende Tendenz, denn größer werdender Guldurchsatz führt zu verminderten Ablufttemperaturen. Bei sehr großem Guldurchsatz verlaufen die Linien jeweils waagrecht; in diesem Bereich kann die Ablufttemperatur nicht mehr durch den Frischguldurchsatz beeinflusst werden. Bild 3 zeigt, daß es möglich ist, durch Beeinflussung des Guldurchsatzes die Ablufttemperatur konstant zu halten.

Die Kennlinien machen deutlich, daß der Trocknungsprozeß starke Nichtlinearitäten enthält, sobald die relative Feuchte der Abluft größere Werte erreicht.

Bei endlicher Trommellänge bestehen auch am Trockneraustritt Differenzen bezüglich Temperatur und Dampfdruck zwischen Luft und Gut.

Die abgeleiteten Kennlinien (Bilder 4 und 5) kommen den praktischen Verhältnissen bereits recht nahe. Sie zeigen

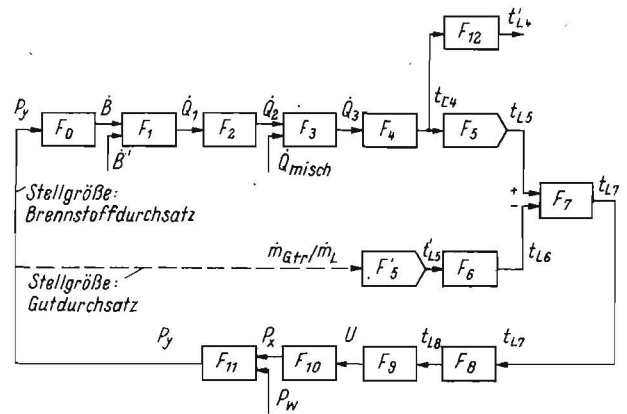


Bild 6. Regelkreis Trommeltrockner; Stellgröße: Guldurchsatz oder Brennstoffdurchsatz; F_0 Stellmotor, F_1 Verbrennung, F_2 Feuerung, F_3 Mischkammer, F_4 Umsetzung Wärme-Temperatur, F_5 und F_5' Trocknung, F_6 und F_7 Trommelzeitverhalten, F_8 Thermoelementzeitverhalten, F_9 Thermoelement, F_{10} Stromwaage, F_{11} PI-Regler

deutlich, daß es regelungstechnisch vernünftig ist, die Ablufttemperatur als Hilfsregelgröße für den Trockengutwassergehalt heranzuziehen. Die Abszissen entsprechen jeweils den Stellgrößen des Regelkreises.

2.2. Dynamisches Verhalten

Für die Trocknungsanlage UT 66 wurden auf vereinfachendem theoretischen Wege die in Tafel 1 zusammengefaßten Frequenzganggleichungen ermittelt, wobei das Blockschaltbild nach Bild 6 zugrunde lag. Einige bei praktischen Messungen gefundene Effekte wurden dabei bereits berücksichtigt.

Eine genaue Analyse bestätigte, daß der Regelkreis über eine Ölfeuerung leichter beherrschbar ist als der Regelkreis über den Frischguldurchsatz; bei kohlegefeuerten Anlagen ist jedoch die Feuerung zu träge, so daß hier die Einbeziehung des Frischguldurchsatzes als Stellgröße durchaus zweckmäßig ist.

3. Automatisierung eines Trockners mit Feuerung für feste Brennstoffe

3.1. Aufbau und Wirkungsweise

Die Trocknungsanlage Naumburg enthält eine Trommeltrommel des Typs UT 66 von 2,1 m Durchmesser und 13 m Länge. Das Frischgut kommt vom Stapelband (Annahmedosierer) über die stationäre Aufbereitungsmaschine

Tafel 1. Regelstrecke Heißlufttrockner (Anlage UT 66-2)

Block	Aggregat, Vorgang	Eingang	Ausgang	Eigenschaften, Frequenzganggleichung
F ₀	Stellmotor mit Ventil	Drucksignal vom Regler P _y	Heizölstrom \dot{B}	$4,8 \frac{\text{kg/h}}{\text{minWS}}$
F ₁	Feuerung, Verbrennung	Heizölstrom Grundlast + Stellast $\dot{B}' + \dot{B}$	Wärmestrom \dot{Q}_1	$\dot{Q}_1 = (\dot{B} + \dot{B}') \cdot Hu$ $Hu = 9500 \text{ kcal/kg}$ $\dot{B}' = 100 \text{ kg/h}$
F ₂	Feuerung, Zeitverhalten	Wärmestrom \dot{Q}_1	Wärmestrom \dot{Q}_2	$K_{21} + \frac{K_{22}}{1 + Z_{21}p}$ $K_{21} \approx 0,5$ $K_{22} = 1 - K_{21}$ $Z \approx 3600 \text{ s}$
F ₃	Mischkammer + Wärmeabstrahlung	Wärmestrom \dot{Q}_2 Mischluftwärmestrom \dot{Q}_{misch}	Wärmestrom \dot{Q}_3	$\frac{K_3}{1 + Z_3p}$ $K_3 = 0,91$ $Z_3 = 1,5 \text{ s}$
F ₄	Umsetzung Wärmestr., Temperatur	Wärmestrom \dot{Q}_3	Trocknungslufttemperatur t_{L4}	$\frac{1}{c_{pL} \cdot m_L}$ $c_{pL} = 0,241 \frac{\text{kcal}}{\text{kg grd}}$ $m_L = 28 \cdot 10^3 \text{ kg/h}$
F ₅	Übertragungsfaktor des Trocknungsvorganges	Trocknungslufttemperatur t_{L4}	statische Ablufttemperatur t_{L5}	$\frac{dt_{La}}{dt_{Le}} = f(t_{Le}, \frac{m_{Gtr}}{m_L} X_e)$ (nach Bild 3)
F _{5'}	Übertragungsfaktor des Trocknungsvorganges	Verhältnis Gutstrom zu Luftstrom $\frac{m_{Gtr}}{m_L}$	statische Ablufttemperatur t_{L5}	$\frac{dt_{La}}{d(X_e \cdot \frac{m_{Gtr}}{m_L})} = f(t_{Le}, X_e, \frac{m_{Gtr}}{m_L})$ (nach Bild 4)
F ₆	Trommel, Zeitverhalten des Gutdurchsatzes	statische Ablufttemperatur t_{L5}	Ablufttemperatur t_{L6}	$\frac{c - Z_6p}{1 + Z_6p}$ $Z_6 = 0 \dots 360 \text{ s}$ $Z_6 = 900 \dots 2400 \text{ s}$
F ₇	Trommel, Zeitverhalten des Luftdurchsatzes	Ablufttemperaturen $t_{L5} - t_{L6}$	Ablufttemperatur t_{L7}	$K_{71} + \frac{cK_{72}}{1 + Z_7p}$ $K_{71} = c - \lambda$ $Z_7 = \frac{\Sigma mc}{m_L c_p} = 900 \dots 1800 \text{ s}$ $K_{72} \approx 1$
F ₈	Thermoelement, Zeitverhalten	Ablufttemperatur t_{L7}	Ablufttemperatur t_{L8}	$\frac{1}{1 + Z_8p}$ $Z_8 = 23 \text{ s}$
F ₉	Thermoelement, Temperaturspannung	Ablufttemperatur t_{L8}	Thermospannung U	$0,8 \text{ mV/grd}$ (2 Thermoclemente, in Reihe geschaltet)
F ₁₀	Stromwaage	Thermospannung U	Regelgröße P_x	16 mmWS/mV
F ₁₁	PI-Regler	Regelgröße und Sollwert $P_x + P_w$	Stellgröße P_y	$K_{11} (1 + \frac{1}{Z_{11}p})$
F ₁₂	Trocknungsluftthermometer	Trocknungslufttemperatur t_{L4}	Temperaturanzeige t_{L4}	$\frac{1}{1 + Z_{12}p}$ $Z_{12} = 300 \text{ s}$

— Häcksler oder Reißer — und verschiedene Förderbänder zum schrägen Dosierband, dessen Geschwindigkeit stufenlos verstellbar ist. Bandgeschwindigkeit und Förderquerschnitt bestimmen den Gutvolumendurchsatz, der zur Trommel geleitet wird. Das stufenlose Dosierbandgetriebe wird durch einen Servomotor-Stellantrieb verstellbar, der bei Handbetrieb über Schaltschütze durch zwei Tastschalter — „schneller“ und „langsamer“ — betätigt wird. Bei den in Naumburg erprobten Automatisierungseinrichtungen dient die Ablufttemperatur als Regelgröße und der erwähnte Servomotor als Stellmotor. Stellgröße ist die Bandgeschwindigkeit, die als Drehwinkel am Stellungsanzeiger des Getriebes abgenommen werden kann.

In Naumburg wurden Versuche mit P-, PI- und PID-ähnlichen Impulsreglern durchgeführt. Im folgenden wird über den zuletzt erreichten Stand mit einem industriell gefertigten PID-ähnlichen Impulsregler berichtet, der seit Fe-

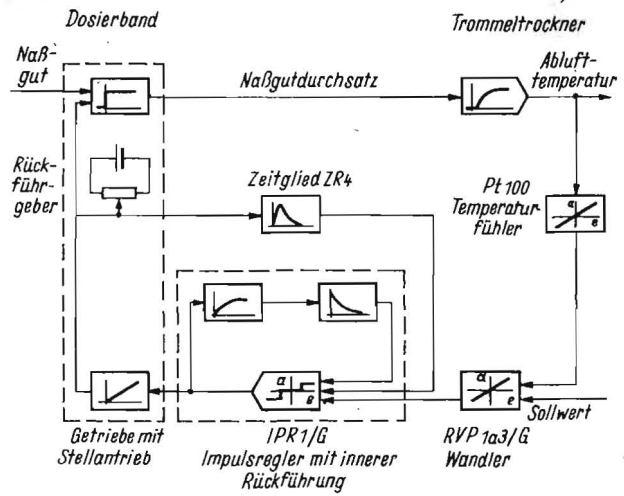


Bild 7. Blockschaltbild für PID-ähnliche Impulsregelung; Stellgröße Naßgutdurchsatz

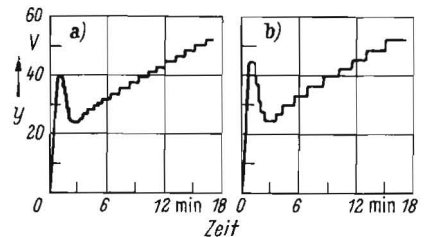


Bild 8. Sprungantwort des Impulsreglers IPR1 mit Rückführung ZR4; Einstellung: IPR1 a) $P = 0,25 \text{ V/s}$ b) $P = 0,4 \text{ V/s}$
 $I = 12 \text{ s}$ $I = 6 \text{ s}$
ZR4 $T_n = 7,5 \text{ min}$ $T_n = 7,5 \text{ min}$
 $T_v = 1,0 \text{ min}$ $T_v = 1,0 \text{ min}$

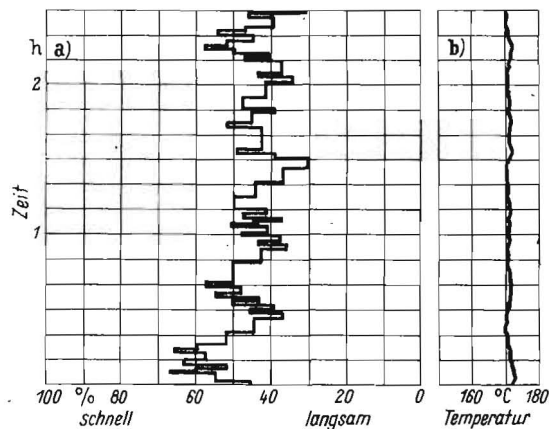


Bild 9. Getriebestellung (Naßgutdurchsatz) a) und Ablufttemperatur b) der Trocknungsanlage Naumburg (PID-Impulsregler) beim Trocknen von Luzerne am 28. Mai 1968

bruar 1960 fest installiert ist und seither über die gesamte Kampagne 1969 hinweg störungsfrei gearbeitet hat.

Das Blockschaltbild des geregelten Trocknungsprozesses läßt drei Kreise erkennen (Bild 7). Der Kreis im Innern des Impulsreglers dient zur Erzeugung der Impulse. Der Kreis über Rückführglieder und Zeitglied hat zwischen Eingang und Ausgang PID-ähnliches Verhalten und stellt das Regelglied im „großen“ Regelkreis dar. Die im Labor gemessenen Treppenkurven (Bild 8) dieses Gliedes nähern

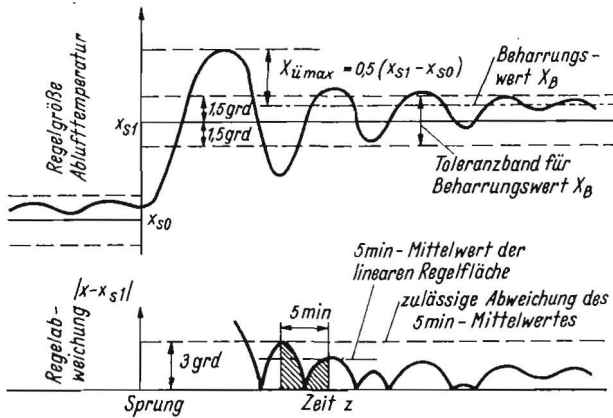


Bild 10. Zulässige Abweichungen der Ablufttemperatur vom Sollwert

sich in nahezu idealer Weise der reinen PID-Sprungantwort an. Wie man erkennt, konnte durch Variation der Einstellung auch die Schalthäufigkeit beeinflusst werden. Anzustreben ist eine möglichst geringe Schalthäufigkeit bei dennoch hoher Regelgüte. Der „große“ Regelkreis besteht aus Getriebe, Trommel, Meßeinrichtung und Regleinrichtung. Einstellmöglichkeiten bestehen am Temperaturregler RVP (Sollwert, Reglerverstärkung), am Impulsregler IPR 1 (Stabilität des „kleinen“ Rückführkreises) und am Zeitglied ZR 4 (Vorhalt- und Nachstellzeit für den „großen“ Regelkreis).

3.2. Ergebnisse und Bewertung

Bei richtiger Einstellung der Regleinrichtung und konstant bleibenden Frischguteigenschaften ist es möglich, die Ablufttemperatur und damit den Trockengutwassergehalt in engen Grenzen konstant zu halten. Bei dem in Bild 9 dargestellten Versuch betragen der Frischgutwassergehalt etwa 75 Prozent (Luzerne), die Nachstellzeit 5 min und die Vorhaltzeit 0,5 min. Die Ablufttemperaturschwankung konnte dabei auf etwa ± 2 grad herabgesetzt werden. Das erfüllte die an die Regelgüte gestellten Forderungen (Bild 10).

Falls das Frischgut feuchter wird — u. a. durch Regen innerhalb kurzer Zeit möglich — ändern sich die Eigenschaften der Regelstrecke „Trockner“ beträchtlich und machen eine veränderte Reglereinstellung erforderlich. Besonders unangenehm macht sich bemerkbar, daß das Auftreten eines ersten Trocknungsabschnittes in der Trommel bei sehr feuchtem Frischgut mit dem Entstehen einer reinen Totzeit verknüpft ist. Wird die Reglereinstellung gegenüber trockenem Frischgut nicht verändert, so können heftige Regelschwingungen entstehen (Bild 11), die nur durch die extremen Dosierbandgetriebebestellungen begrenzt werden.

Aus den gefundenen Tatsachen

- Auftreten einer Totzeit bei sehr feuchtem Gut,
- wesentliche Veränderungen der Kenngrößen der Regelstrecke „Trockner“ innerhalb weniger Stunden

ergibt sich die Notwendigkeit, die Einstellung der Regleinrichtung während des Betriebes durch das Trocknerpersonal den jeweiligen Guteigenschaften anzupassen. Im allgemeinen genügt es, die Reglerverstärkung und den Sollwert zur Bedienung freizugeben, was sich in Naumburg bewährt hat.

Zusammenfassung

Es wird über Forschungsergebnisse zur Automatisierung der Heißlufttrocknung berichtet: Hauptziel der Automatisierung ist die Verbesserung der Trockengutqualität. Auf der Basis thermodynamischer Überlegungen werden statische Kennlinien für die unendlich lang gedachte und die endliche

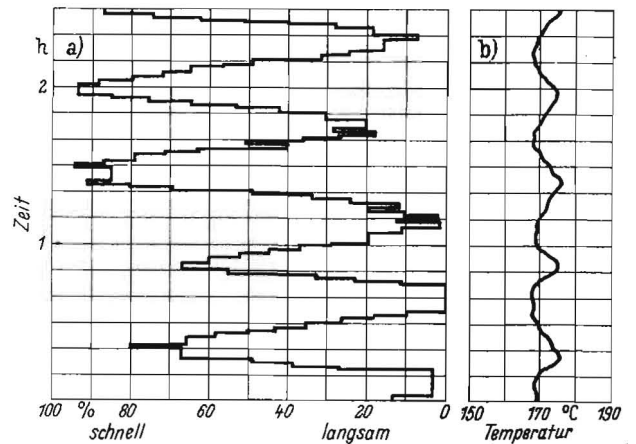


Bild 11. Getriebebestellung (Naßgudurchsatz) a) und Ablufttemperatur b) der Trocknungsanlage Naumburg (PID-Impulsregler) beim Trocknen nasser Luzerne

Trommel vorgelegt. Dabei bestätigt sich quantitativ, daß die Hilfsregelgröße Ablufttemperatur hervorragend zur Konstanthaltung des Trockengutwassergehaltes geeignet ist. Das dynamische Verhalten wird mit Hilfe theoretisch abgeleiteter Frequenzganggleichungen charakterisiert.

Die Automatisierung eines Trockners mit Feuerung für feste Brennstoffe erbrachte den Nachweis, daß es mit einfachen Mitteln möglich ist, die von der Gutqualität her geforderte Regelgüte zu verwirklichen, wenn die Besonderheiten der landwirtschaftlichen Trocknungstechnik beachtet werden.

A 8091

Betriebe der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft Kreisbetriebe für Landtechnik Betriebe des Landtechnischen Anlagenbaus

Für die Ausführungen Ihrer Projektierungs- und auch Reparaturarbeiten auf der Basis von

Gözlathen-Rohren

liefern wir Ihnen bei rechtzeitiger Bestellung alle erforderlichen

Gözlathen-Fittings

Unser Sortiment ist aufgebaut auf dem derzeit gültigen Werkstandard 2-67 und Ergänzungsblatt 1 des VEB Orbitoplast Weißbandt-Gözlau.

Die Lieferung erfolgt auf der Grundlage der am Tage der Lieferung geltenden gesetzlich gültigen Preise.

Das Sortiment umfaßt:

Gözlathen-Muffen	für Verbindung PE-PE-Rohr
Gözlathen-T-Stücke	für Verbindung PE-PE-Rohr
Gözlathen-90°-Winkel	für Verbindung PE-PE-Rohr
Gözlathen-45°-Winkel	für Verbindung PE-PE-Rohr
Gözlathen-Reduzierstück 1	für Verbindung PE-PE-Rohr
Gözlathen-Reduzierstück 2	für Verbindung PE-PE-Rohr
Gözlathen-Vorschweißbunde	für Verbindung PE-PE-Rohr und PE-Metall
Gözlathen-Verschlußkappen	für Abschluß PE-Rohr
Gözlith-Rohrverschraubung	PE-ME
Gözlith-Rohrverschraubung	PE-PE
Gözlith-Losflansch	

Entsprechend den Erfordernissen untergliedert sich das Sortiment in

- Fittings für ND 2,5 – 6 – 10
- Fittings für PE – hart und weich

Kundenberatung führen wir jeweils Dienstag und Freitag durch. Wir erwarten gern Ihren Besuch und Ihre Lieferaufträge.

Handelskontor

für mat.-techn. Versorgung der Landwirtschaft

8027 Dresden, Zwickauer Straße 37
Fernruf: 44 691 Telex: 2393 landk dd