

einrichtungen oder durch Fernsteuerung gelenkt werden, stellen sie notwendige Ergänzungseinrichtungen dar. Sie können u. a. folgende Funktionen erfüllen: Anhalten der Maschine bzw. des Traktors, wenn die Tasteinrichtung die Verbindung mit der Leitlinie verliert, wenn das Fernsteuerungssignal verlorengeht, wenn Kollision mit einem Hindernis droht; Ausgleich der Hangneigung bei Arbeiten am Hang durch Verlagerung des Maschinenaufbaues gegenüber dem Fahrgestell und ähnliche Sicherheitsmaßnahmen.

#### 4. Aufgaben für Industrie und Ausbildung

Die genannten Beispiele sollen nur einen Überblick über technische Möglichkeiten geben, der natürlich noch erweitert werden könnte. Selbstverständlich können bei der Entscheidung über die Zweckmäßigkeit der Anwendung der Steuerungs- und Regelungstechnik auf verschiedenen Gebieten nicht nur die technischen Möglichkeiten betrachtet werden, sondern es sind vor allem auch ökonomische Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Daraus ergibt sich, daß bei der Entwicklung derartiger Einrichtungen Konstrukteure, Technologen, Projektierungsingenieure, Fachkräfte der Instandhaltung, Landwirte und Agrarökonomien Hand in Hand arbeiten müssen, um optimale Lösungen mit hohem volkswirtschaftlichem Nutzen zu finden. Für die Ausbildungsstätten, die Fach- und Hochschulen, ergibt sich die Aufgabe, den Studenten der landtechnischen Institute ausreichende theoretische Grundkenntnisse der Steuerungs- und Regelungstechnik zu vermitteln, die die Absolventen be-

fähigen, bei der Entwicklung von Automatisierungseinrichtungen die Gesetzmäßigkeiten der Steuerungs- und Regelungstechnik anzuwenden. Empirisch entwickelte Einrichtungen führen nur selten zu brauchbaren, fast nie zu optimalen Lösungen und erfordern außerdem unverträglich lange Entwicklungszeiten.

#### 5. Zusammenfassung

Die Steuerungs- und Regelungstechnik eröffnet auch in der Landwirtschaft vielfältige Möglichkeiten zur Erhöhung der Arbeitsproduktivität und zur Erleichterung der Arbeit. Technische und ökonomische Gesichtspunkte entscheiden über den zweckmäßigsten Einsatz von Steuerungs- und Regelungseinrichtungen zur Mechanisierung und Automatisierung landwirtschaftlicher Prozesse. Dabei sind die Besonderheiten des Einsatzes in der Landwirtschaft zu berücksichtigen.

#### Literatur

- [1] TGL 14 591 — Steuerungs- und Regelungstechnik, Begriffe, Benennungen — Ausgabe 1963
- [2] OPPELT, W.: Kleines Handbuch technischer Vorgänge 4. Auflage, Verlag Chemie Weinheim/Bergstraße und VEB Verlag Technik Berlin 1963
- [3] Autorenkollektiv: Lehrbuch der Automatisierungstechnik (Herausgegeben vom Institut für Fachschulwesen der DDR) 2. Auflage, VEB Verlag Technik Berlin 1963
- [4] SCHWARZE, G.: Grundbegriffe der Automatisierungstechnik (REHLE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, Band 1), 3. Auflage, VEB Verlag Technik Berlin 1965 A 6919

## Möglichkeiten der Anwendung der Meß- und Regeltechnik zur weiteren Automatisierung von Trocknungsanlagen<sup>1</sup>

Dr. -Ing. W. MALTRY\*

### 1. Aufgabenstellung

Landwirtschaftliche Trocknungsanlagen sind verfahrenstechnische Einrichtungen, in denen aus nicht lagerfähigem Feuchtgut lagerfähiges Trockengut produziert wird, wobei das thermisch entfernte Wasser dampfförmig zusammen mit der Fortluft ins Freie strömt. Für den Betrieb dieser Anlagen gelten im Prinzip die gleichen verfahrenstechnischen Grundsätze wie bei den Anlagen der chemischen Industrie. Deshalb liegt es nahe, in bezug auf die Automatisierung die dort vorliegenden reichen Erfahrungen zu nutzen.

Die technische Trocknung kommt bereits jetzt den industriemäßigen Produktionsmethoden sehr nahe, wie die 1966 in einigen Anlagen erreichte Auslastung von über 4000 h im Jahr beweist. Die begonnene Automatisierung des Trocknungsprozesses zeigt darüber hinaus, daß die Landtechnik in bezug auf die Verwirklichung der technischen Revolution der Industrie auf dem Fuße folgt.

Die Aufgaben der Automatisierung von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen bestehen vor allem in folgendem:

- a) Sicherung eines weitgehend gleichbleibenden Betriebsablaufs auch bei wechselnden Betriebsparametern (z. B. bei schwankender Naßgutfuchte), um vor allem die Trockengutqualität zu erhalten,
- b) Entlastung des Trockenmeisters von der ständigen Kontrolle der Meßinstrumente und der große Erfahrung erfordernden Tracknerführung,
- c) Sicherung der maximalen Auslastung der Trocknungsanlage durch möglichst enges Herangehen an die höchstzulässigen Betriebsparameter (z. B. möglichst hohe Gaseintrittstemperatur)
- d) Schaffung einer großen Betriebssicherheit durch automatische Sicherheitseinrichtungen (z. B. automatische Brandwächter kombiniert mit CO<sub>2</sub>-Löscheinrichtung).

Bei der Realisierung der Forderungen an die Automatisierung des Trocknungsprozesses sind verschiedene technische Besonderheiten zu beachten, über die im folgenden berichtet wird.

### 2. Einige regeltechnische Eigenschaften von landwirtschaftlichen Heißlufttrocknern

Die einwandfreie Führung irgendeiner Meßgröße des Trockners (z. B. der Gaseintrittstemperatur) ist an folgende Voraussetzungen geknüpft:

- a) Es muß ein Meßgerät für die betreffende Größe vorhanden sein (z. B. Thermoelement mit Gegenlöstelle und Anzeigeinstrument),
- b) der Trocknungsmeister oder ein Regler müssen den Meßwert mit dem Sollwert vergleichen,
- c) auf Grund der Differenz zwischen Sollwert und Meßwert ist entweder durch den Trocknungsmeister oder durch einen Regler zu entscheiden, auf welche Weise der Meßwertabweichung zu begegnen ist, damit diese Abweichung kleiner wird oder verschwindet,
- d) der Trocknungsmeister oder ein Stellmotor betätigen ein Stellglied (z. B. den Unterwind), das die Meßgröße im Sinne einer Verminderung der Sollwertabweichung beeinflusst. Mit dem Übergang der beeinflussten Stellgröße zum Ort der Messung ist der Betätigungskreis geschlossen.

An einer modernen Trommeltrocknungsanlage ist eine Vielzahl von Meßwerten zu überwachen. Beim Fehlen von selbsttätigen Reglern gilt der Grundsatz, daß die Möglichkeiten der richtigen Tracknerführung um so besser sind, je mehr Größen

\* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim der DAL zu Berlin (Leiter: Obering. O. BOSTELMANN)

<sup>1</sup> Vortrag auf der 9. Trocknungstagung der KDT in Magdeburg am 25./26. Mai 1967

an der Anlage meßtechnisch erfaßt werden. Auf Grund der gegenseitigen Abhängigkeit der verschiedenen Meßgrößen haben sich folgende Meßstellen erfahrungsgemäß als besonders wichtig für landwirtschaftliche Trocknungsanlagen herausgestellt:

- Temperatur des Abgases
- Temperatur des Trocknungsgases am Trocknereintritt
- Temperaturen im Trockneraggregat
- Unterdruck (Saugzug) am Trocknereintritt und am Trocknerende

Ohne diese vier Meßstellen ist eine einwandfreie Trocknerführung nicht möglich. Weitere nützliche Meßstellen sind:

- Feuerraumtemperatur
- Stromaufnahme des Trammeltriebs (bei Trammeltrocknern)
- Trockengutfeuchte
- Trockenguttemperatur
- Stromaufnahme des stationären Häckslers

Die genannten Meßgrößen sind mit den Betriebsgrößen, wie Frischguldurchsatz, Brennstoffdurchsatz, Luftdurchsatz, Frischgutfeuchte usw. durch eine Vielzahl thermodynamischer, strömungstechnischer und trocknungstechnischer Gesetzmäßigkeiten verknüpft. Dem Trocknungsmeister sind diese gegenseitigen Abhängigkeiten vor allem aus Erfahrung geläufig. Soll irgendein Vorgang selbsttätig geregelt werden, so müssen die dabei wirksamen Abhängigkeiten für die Festlegung der Reglercharakteristik genügend genau bekannt sein.

Welche Eigenschaften des Trockners sind nun beim Einsatz von selbsttätigen Reglern besonders zu berücksichtigen? Ganz allgemein gilt, daß eine Regelung um so besser durchführbar ist, je kürzer die Zeit zwischen Verstellung des Stellgliedes und Einwirkung dieser Verstellung auf die betreffende Meßgröße ist. Analysiert man unter diesem Gesichtspunkt die Durchlaufzeiten verschiedener Größen durch den Trockner, so kommt man zu folgender Bewertung der regeltechnischen Eignung dieser Größen:

- Bei Verstellung der Saugzugklappe vor dem Lüfter werden alle Druckmeßstellen mit Schallgeschwindigkeit, also praktisch unverzögert, von der Änderung dieses Stellgliedes erfaßt. Hiernach ist der Unterdruck eine sehr gut regelbare Größe.
- Alle Stellgrößenänderungen, die mit dem Gasstrom verknüpft sind, durchlaufen den Trockner in einer Zeit, die sich angenähert aus Gasdurchsatz [ $m^3/s$ ] und Trocknervolumen [ $m^3$ ] errechnen läßt. Im Trammeltrockner beträgt diese Zeit theoretisch etwa 1 min. Mit dem Gasstrom verknüpfte Meßgrößen (z. B. die Abgastemperatur) eignen sich hiernach gut zur selbstständigen Regelung.
- Werden Meßgrößen zur selbsttätigen Regelung in Betracht gezogen, die an das Gut geknüpft sind, so ist als Zeit zwischen Stellgrößenänderung und entsprechender Meßgrößenänderung die Aufenthalts-

zeit des Gutes im Trockner anzusetzen. Diese beträgt im Trammeltrockner zwischen 20 min und 1 h. Hieraus ergibt sich zwangsläufig, daß sich z. B. die Trockengutfeuchte nicht als Meßgröße zur selbsttätigen Regelung eignet, auch wenn deren Konstanz letztlich das Ziel der Regelung ist.

- Bei BB-Feuerungen wird jede Änderung des Brennstoffdurchsatzes erst dann voll wirksam, wenn der wandernde Rost diese Änderung in den Ofenraum transportiert hat. Hierbei vergehen Zeiten, die zwischen einer halben und über einer Stunde liegen. Der Brennstoffdurchsatz (Schütthöhenregelung, Rostvorschubregelung) ist deshalb nicht zur Ausregelung kurzfristiger Störungen geeignet. Er kann lediglich zum langfristigen Ausgleich von Störgrößenschwankungen herangezogen werden.
- In Trocknern mit BB-Feuerungen sind nur solche Stellgrößen an der Feuerung zur Regelung geeignet, die unmittelbar die Trocknungsgase als Träger der Änderungen haben. Solche Stellgrößen sind der Unterwind und die Mischzuluft. Die Zeit zwischen Stellgrößenänderung und Meßgrößenbeeinflussung beträgt etwa 1 bis 2 min, wenn sich die zu regelnden Meßgrößen am Trocknerende befinden (z. B. Abgastemperatur), und etwa 30 s bei Meßgrößen am Trocknereintritt (z. B. Trockengastemperatur). Unterwind und Mischzuluft sind nach diesen Überlegungen gut zur kurzfristigen Regelung des Trockners geeignet.
- Bei Trocknungsanlagen mit Öl- und Gasfeuerungen entfällt die lange Aufenthaltszeit unverbrannten Brennstoffes in der Feuerung. Deshalb ist hier auch der Brennstoffdurchsatz eine gut zur Regelung geeignete Stellgröße.
- Der Feuchtguldurchsatz beeinflusst in erheblichem Maße den Betriebszustand eines Trockners. Er kann aber nur dann zur Regelung herangezogen werden, wenn die Zeit zwischen Stellgrößenänderung und Meßgrößenänderung kurz gehalten wird.

Hieraus ergibt sich die Forderung, die Feuchtguldurchsatzverstellung unmittelbar vor dem Eintritt in den Trockner anzuordnen, z. B. in Form eines Dasierbandes mit davorliegendem, kleinem Zwischenspeicher. Die Durchsatzverstellung am Stapelband ist dagegen weniger gut geeignet, weil die Zeit bis zur Meßgrößenänderung um die Transportzeit zwischen Stapelband und Trocknereintritt vergrößert ist. Diese Differenz kann bei Grünfütter einige Minuten, bei Hackfrüchten, die gewaschen werden müssen, wesentlich mehr betragen.

Auch der Feuchtguldurchsatz läßt sich als Stellgröße nur dann für die Regelung verwenden, wenn die Durchsatzänderung an eine Meßgröße übertragen wird, die an die durch den Trockner strömenden Gase geknüpft ist (z. B. die Abgastemperatur).

Andere Automatisierungsmöglichkeiten als die hier unter a bis g aufgeführten haben vorerst für den eigentlichen Trocknungsprozeß keine Bedeutung, obwohl z. B. bei Öl- und Gasfeuerungen auch die Regelung des Verhältnisses Brennstoffdurchsatz : Primärluftdurchsatz nützlich und für die einwandfreie Verbrennung notwendig ist.

### 3. Arbeitsweise und Eignung vorhandener Regeleinrichtungen

Im Rahmen der Vergleichsmessungen an verschiedenartigen in- und ausländischen landwirtschaftlichen Trocknern konnten auch einige regeltechnische Eigenschaften und Regler in ihrer Wirksamkeit erfaßt werden.

Im folgenden werden die dabei ermittelten Ergebnisse an Hand selbsttätig aufgezeichneter Diagramme erörtert.

In der Anlage Naumburg — einem Trammeltrockner mit BB-Feuerung — ist zwar eine umfangreiche pneumatische Regeleinrichtung eingebaut, auf Grund verschiedener Schwierigkeiten jedoch noch nicht in Betrieb genommen worden. An einigen Registrierstreifen (Bild 1) können jedoch trotzdem die Auswirkungen verschiedener Stellgrößenänderungen analysiert werden.

Bei der Trocknungsgastemperatur fällt die generelle Unruhe auf. Das beruht vor allem darauf, daß das verwendete Thermoelement ohne Schutzrohr frei im Trocknungsgasstrom hing und jede Temperaturänderung sofort und ohne Dämpfung zur Anzeige brachte. Es sind sowohl kurzfristige Steigerungen mit nachfolgendem langsamen Temperaturabfall als auch kurzfristige Temperaturstürze mit nachfolgendem raschen Temperaturanstieg beobachtbar. Die Steigerungen entstehen durch Einschalten des Unterwindes, die Stürze durch Öffnen

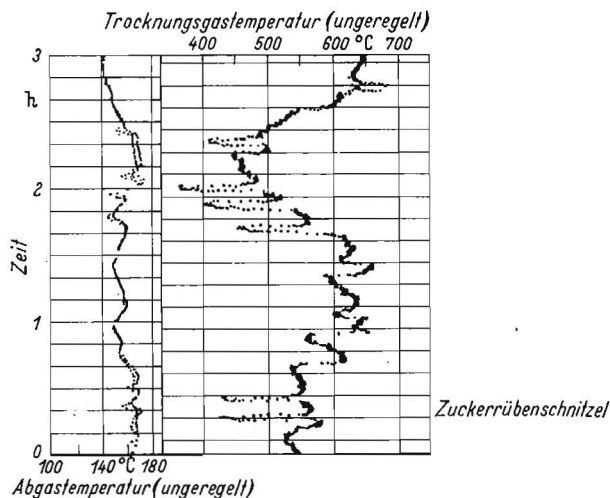


Bild 1. Abgastemperatur (links) und Trocknungsgastemperatur (rechts), unregulierter Betrieb, Trocknungsanlage Naumburg (11. Jan. 1967, Zuckerrübenschnitzel)

der Feuerungstüren und -klappen. Durch das Zuschalten des Unterwindes können also Temperaturerhöhungen um 100 bis 150 grd innerhalb von 12 bis 18 s erzielt werden — ein für die Regelung ideales Verhalten!

Von besonderem Interesse sind die Auswirkungen der kurzfristigen Änderungen der Trocknungsgastemperatur auf die Abgastemperatur. Die Registrierung bestätigt, daß bereits nach 1 bis 2 min eine entsprechende Änderung der Abgastemperatur eintritt. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß der Abgasfühler träge anzeigt, nicht aber der Trocknungsgastfühler. Zwischen Abgastemperatur und Trocknungsgasttemperatur läßt sich ein enger Zusammenhang feststellen (Bild 2): hohe Abgastemperatur bedeutet niedrige Trocknungsgasttemperatur und umgekehrt. Bei Versuchsanfang traten die Änderungen der Abgastemperatur etwa 50 min vor den entsprechenden Änderungen der Trocknungsgasttemperatur auf, bei Versuchsende betrug diese zeitliche Verschiebung nur noch etwa 30 min. Diese Zeitverkürzung läßt auf einen veränderlichen Füllungsgrad der Trommel schließen, der anfangs größer war als gegen Versuchsende, was durch Druckmessungen am Trommelhals und Ausfallgehäuse bestätigt wurde.

Die Analyse der in Naumburg gewonnenen Ergebnisse zeigt, daß auch an Anlagen ohne Regeleinrichtungen die Eignung verschiedener Stell- und Meßgrößen für die selbsttätige Regelung beurteilt werden kann.

In der Anlage Schwedt — einem ölgefeuerten ungarischen Trommeltrockner mit Blenden- und Schaufeleinbauten — ist eine sehr einfache und wirkungsvolle Regelung installiert. Die Abgastemperatur wird mit einem Pt-Widerstandsthermometer gemessen, und der Meßwert zu einem Fallbügelregler geleitet. Hier wird der Meßwert mit dem Sollwert verglichen; ist der Meßwert zu groß, so wird selbsttätig sofort der Ölstrom auf einen sehr niedrigen Wert gedrosselt (kleine Flamme); ist der Meßwert zu klein, so wird der Ölstrom ebenso plötzlich wieder vergrößert (große Flamme). Der Regler arbeitet somit als Zweipunktregler. Ein Regelzyklus dauert zwischen 2 und 3 min. Die Konstanz der Meßgröße ist beachtlich: die Abgastemperatur schwankt um den Sollwert von 90 °C um nur  $\pm 1$  grd. Als Folge hiervon ist auch die Trocknungsgasttemperatur sehr gleichmäßig. Weniger günstig sind die Auswirkungen auf die Feuerraumtemperatur. Hier schwankt die Temperatur innerhalb eines Regelzyklus zwischen 700 und 1000 °C. Das bedeutet eine große thermische Wechselbelastung der Feuerraumauskleidung und führt zu frühen Schäden insbesondere am Feuerraumhals.

Die Regeleinrichtung der Trocknungsanlage Schwedt zeigt, daß ein einfacher Zweipunktregler nur bedingt für den vorliegenden Zweck geeignet ist.

In Grimma-Hohenstädt ist in einem gasgefeuerten Trommeltrockner des Standardprojektes 1963 eine umfangreiche stetig arbeitende Hydraulik-Regeleinrichtung des VEB Geräte- und Reglerwerk Toltow eingebaut worden. Die Regelkreise sind im einzelnen:

- Regelung des Verhältnisses Primärluftdurchsatz : Gasdurchsatz zur Sicherung einer einwandfreien Verbrennung
- Regelung des Mischkammer-Unterdruckes durch Verstellung der Drosselklappe vor dem Hauptlüfter
- Regelung der Trocknungsgastemperatur durch Verstellung der Mischluftklappen in der Mischkammer
- Regelung der Abgastemperatur durch Verstellung der Primärluftmenge, was in Verbindung mit den anderen Regelkreisen eine Verstellung des Trocknungsgasdurchsatzes bei konstant bleibender Trocknungsgastemperatur zur Folge hat.

Die Regelung des Gas-Luft-Verhältnisses arbeitet einwandfrei, die entsprechenden Diagramme zeigen praktisch übereinstimmende Linienzüge (Bild 3).

Die Regelung des Mischkammer-Unterdruckes führt ebenfalls zu einem völlig konstanten Meßwert. Die Ausregelung erfolgt nahezu unverzögert, sie ist nur auf Grund der hydraulischen Arbeitselemente in gewünschter Weise gedämpft.

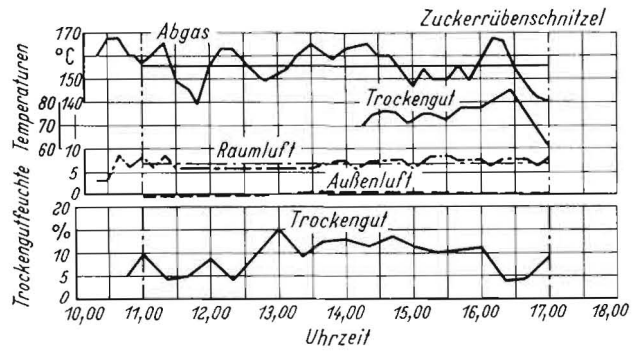


Bild 2. Verlauf von Abgastemperatur, Trocknungsgasttemperatur, Raumlufttemperatur, Außenlufttemperatur und Trocknungsgasttemperatur, unregelter Betrieb, Trocknungsanlage Naumburg (11. Jan. 1967, Zuckerrübenschnitzel)

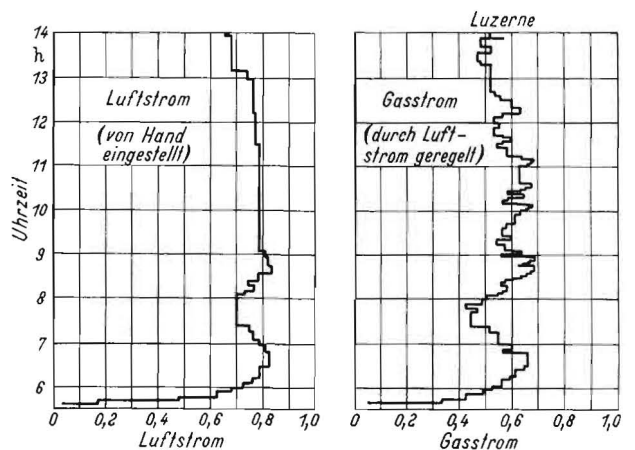


Bild 3. Luftstrom und Gasstrom der gasbeheizten Trocknungsanlage Grimma (6. Juli 1965, Luzerne), Gasstrom (Meßgröße) durch Luftstrom (Stellgröße) geregelt

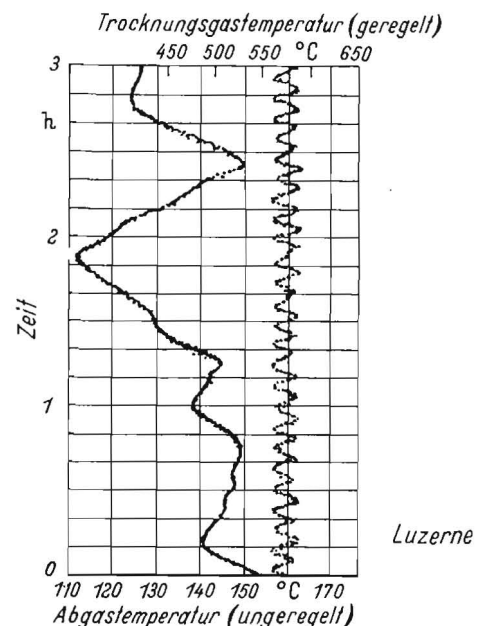


Bild 4. Trocknungsgasttemperatur (rechts, durch Mischluftklappen geregelt) und Abgastemperatur (links, unregelt), Trocknungsanlage Grimma (6. Juli 1965, Luzerne)

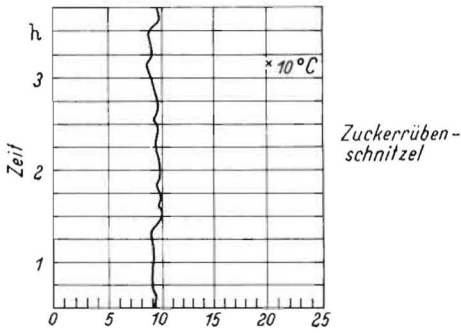


Bild 5. Abgastemperatur, mit hydr. P-Regler geregelt. Trocknungsanlage Grimma (12. Juli 1966, Zuckerrübenschnitzel)

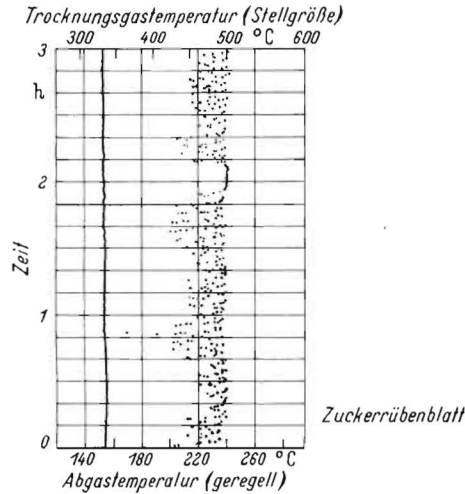


Bild 6. Abgastemperatur (links) geregelt durch Trocknungsgastemperatur (rechts), Trocknungsanlage Groß Lüsewitz (28. Okt. 1966, Zuckerrübenblatt)

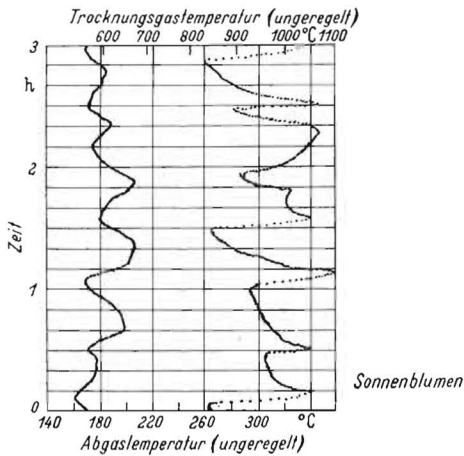


Bild 7. Abgastemperatur (links) und Trocknungsgastemperatur (rechts), unregelter Betrieb, Trocknungsanlage Hohenlückow (13. Sept. 1966, Sonnenblumen)

Bei der Regelung der Trocknungsgastemperatur (Bild 4) ist ein geringes Pendeln um den Sollwert beobachtbar, wobei ein Regelzyklus etwa 7 min dauert. Hieraus ist eine Totzeit von weniger als 2 min ableitbar, was für einen kontinuierlichen Regler durchaus beherrschbar ist. Die Temperaturschwankungen selbst betragen bei  $\approx 580^\circ\text{C}$  Trocknungsgastemperatur weniger als  $\pm 15^\circ\text{C}$ . Bei einer exakteren Einstellung des Reglers ist es darüber hinaus möglich, das Überschwingen weiter zu vermindern.

Im Vergleich zu den Schwankungen der Trocknungsgastemperatur in der Anlage Schwedt ist bereits zu erkennen, welche große Vorteile ein stetiger Regler gegenüber einem unstetigen Zweipunktregler besitzt.

Die Regelung der Abgastemperatur (Meßgröße) durch Verstellung des Trocknungsgasdurchsatzes (Stellgröße) ist erst seit Herbst 1966 in Betrieb. Vom Projektanten war ursprünglich eine hydraulische Proportional-Integral-Regelung vorgesehen gewesen. Der I-Regler erfüllte jedoch seine Aufgaben nicht genügend, so daß jetzt nur noch der P-Regler arbeitet. Trotz dieser stetigen Regelung (Bild 5) sind die auftretenden Schwankungen der Abgastemperatur beträchtlich, auch wenn gegenüber unregelmäßigem Betrieb eine spürbare Verbesserung eingetreten ist.

Die Konstanz der Abgastemperatur und damit der Trocknungseffizienz ist schlechter als bei der Anlage in Schwedt. Die Ursache hierfür dürfte darin bestehen, daß der Trocknungsgasdurchsatz eine für die Regelung der Abgastemperatur weniger geeignete Stellgröße ist als die Trocknungsgastemperatur oder der Feuchtguldurchsatz.

Die importierte Trommel-trocknungsanlage mit Schwerölföhrung in Groß-Lüsewitz hat neben den automatischen Einrichtungen zur Flammenüberwachung eine recht gut arbeitende Regelung zur Konstanthaltung der Abgastemperatur. Stellglied ist das Ventil zur Regulierung des Heizöldurchsatzes, mit dem die Klappe für den Primärluftdurchsatz verbunden ist. Das Meßgerät besteht aus einem am Ausfallgehäuse angebrachten Flüssigkeits-Ausdehnungsthermometer, das in Abhängigkeit von der Temperatur ein elektrisches Potentiometer verstellt. Der Sollwert und die Ansprechempfindlichkeit sind am Thermometer einstellbar. Bei Überschreitung einer gewissen Mindestabweichung vom Sollwert wird über einen elektronischen Schalter der Stellmotor des Heizölventils betätigt (= 3-Punkt-Regelung). Mit dem Stellmotor ist ein weiteres elektrisches Potentiometer gekoppelt, das in der Regelschaltung eine starre Rückführung bewirkt. Es liegt somit eine proportional-ähnliche Regelung mit Hysterese vor. Dadurch wird der Stellmotor nur selten betätigt.

Die Regelgüte des Reglers ist wiederum an Hand des Temperaturregistrierstreifens erkennbar (Bild 6). Die Trocknungsgastemperatur schwankt in gewissem Umfang, während die Abgastemperatur eine ausgezeichnete Konstanz aufweist. Ein Regelzyklus dauert etwa 4 min, was auf eine Totzeit zwischen Stellglied und Meßglied von 1 min schließen läßt. Auch dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit den bereits dargelegten Überlegungen.

Der Verlauf der Trocknungsgastemperatur ist durch rasche Temperaturstürze und langsamer verlaufende Temperaturanstiege gekennzeichnet. Dieses Verhalten rührt daher, daß die Feuerung an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit betrieben wurde. Bei einer etwas weniger empfindlichen Einstellung des Meßpotentiometers am Thermometer könnten die Regelschwankungen der Stellgröße noch weiter vermindert werden, allerdings zu Lasten der Regelgüte.

Am Schnellumlauf-trockner Hohenlückow ist bis jetzt noch keine selbsttätige Regelung für den Trocknungsprozeß in Betrieb. Die registrierten Verläufe für Trocknungsgastemperatur, Abgastemperatur (Bild 7) lassen erkennen, wie notwendig die Automatisierung zur Konstanthaltung des Betriebszustands ist. Dabei muß berücksichtigt werden, daß der Schnellumlauf-trockner das einzige System mit genügend kurzen Aufenthaltszeiten des Gutes darstellt, so daß theoretisch sogar Regelkreise mit Gutparametern als Meßgröße möglich erscheinen.

#### 4. Schlußfolgerungen

Für die Automatisierung von landwirtschaftlichen Trocknern lassen sich aus den trocknungstechnischen Zusammenhängen und den bisherigen Erfahrungen folgende Schlußfolgerungen ableiten:

- a) Der Unterdruck (Saugzug) läßt sich ohne weiteres regeln.

- b) Die Konstanzhaltung des Trockengut-Wassergehalts ist zwar letztlich das Ziel der Regelung, der Wassergehalt ist aber als Meßgröße für Regelzwecke nicht geeignet, weil die Aufenthaltszeit des Gutes im Trockner hierfür im allgemeinen zu lang ist.
- c) Die Regelung des Trocknungsprozesses muß an Hilfsgrößen geknüpft werden, die den Trockner genügend schnell durchlaufen. In Frage kommen ausschließlich Abgasmeßwerte, bevorzugt die Abgastemperatur. Auch die Abgasfeuchtigkeit könnte theoretisch zur Regelung herangezogen werden.
- d) Als Stellgrößen für die Regelung kommen vor allem die Wärmeleistung der Feuerung, die Temperatur der Trocknungsgase und der Frischgutdurchsatz in Frage.
- e) Bei flüssigen und gasförmigen Brennstoffen kann die Wärmeleistung durch den Brennstoffdurchsatz beeinflußt werden. Bei festen Brennstoffen sind kurzfristige Änderungen nur mit Hilfe des Unterwindes ausregelbar.
- f) Mit der Mischluftklappe als Stellglied und der Trocknungsgastemperatur als Stellgröße läßt sich eine sehr effektive Regelung der Abgastemperatur aufbauen.
- g) Soll der Frischgutdurchsatz als Stellgröße fungieren, so ist ein regelbares Dosierband unmittelbar vor dem Trocknereintritt notwendig.

wendig. Das Stapelbond am Anfang der Förderkette ist hierfür weniger gut geeignet.

- h) Stetige Regler und quasistetige Regler sind trotz größeren Aufwands besser zur Regelung des Trocknungsprozesses geeignet als unstetige Zweipunktregler.

Die Probleme der Automatisierung des Trocknungsprozesses werden gegenwärtig verstärkt im Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim bearbeitet.

## 5. Zusammenfassung

Zur Automatisierung von Trocknungsanlagen in der Landwirtschaft ist vor allem der Trocknungsprozeß selbst zu regeln. Eine Analyse der möglichen Meßgrößen und Stellgrößen ergibt, daß nur einige wenige Größen für die Regelung herangezogen werden können. Die größte Bedeutung hat hierbei die Konstanzhaltung der Abgastemperatur.

Messungen an Trocknungsanlagen mit und ohne Regeleinrichtungen lassen eine Bewertung der Eignung verschiedenartiger Regelkreise zu.

A 6956

## Automatisches Regeln des Durchsatzes bei Erntemaschinen

Der Arbeitserfolg der Erntemaschinen hängt in vielem von der richtigen Belastung ihrer Arbeitsorgane ab. Überschreiten des Belastungsnennwertes verschlechtert die Qualität des technologischen Vorgangs, erhöht den Kraftstoffverbrauch und ruft Verstopfungen hervor, während bei einer Unterschreitung die Durchlabfähigkeit der Maschine nicht voll ausgenutzt und ihre Produktivität herabgesetzt wird.

Um die Durchlabfähigkeit der Erntemaschinen unter normalen Bedingungen voll auszunutzen, hat man eine Reihe von automatischen Durchsatzreglern geschaffen, so z. B. für Mähdrescher, Feldhäcksler und Kartoffel-Sammelroder. Sie sind einfach konstruiert und machen sich im allgemeinen in nur einer Kampagne bezahlt.

### Automatischer Durchsatzregler am Mähdrescher...

Die mit Mähdreschern gesammelten Erfahrungen zeigen, daß ihre Belastung sogar während einer einzigen Durchfahrt erheblich schwanken kann, weil sich der Ertrag und die physikalischen Eigenschaften der Kultur auf der durchfahrenen Strecke ändern. Bei konstanter Fahrgeschwindigkeit des Mähdreschers beträgt der Variationskoeffizient der Erntegutzufuhr 15 bis 20%, wodurch die Drusch- und Sichtungbedingungen verschlechtert und die Kornverluste erhöht werden. Der Durchsatz kann in einer bestimmten Höhe konstant gehalten werden, wenn man die Fahrgeschwindigkeit der Maschine entsprechend ändert. Beim Regeln von Hand muß der Mähdrescherführer große Aufmerksamkeit aufbringen, er ermüdet schneller. Außerdem kann er auf die Änderungen der Erntebedingungen nicht präzise genug reagieren und nicht immer die erforderliche Fahrgeschwindigkeit einhalten.

Um die Zufuhr des Erntegutes zum Dreschwerk auf einem bestimmten Niveau konstant zu halten, werden die selbstfahrenden Mähdrescher SK-4 mit automatischen Durchsatzreglern ausgerüstet. Die Anlage (Bild 1) besteht aus einem im schrägen Schacht *a* befindlichen Schichtdickenfühler *b*, einem Hydraulikschieber *p*, dessen Kolben *r* mit dem Fühler durch den Stab *c* verbunden ist, einem Hydraulikzylinder *k*, einem stufenlosen Fahrgeschwindigkeitsregler (Variator) *l*,

I. I. NAKONETSCHNY/W. D. SCHEPOWALOW,  
Unionsforschungsinstitut für den Landmaschinenbau  
(WISCHOM), Moskau

einem hydraulischen Umschalter *i* und der Vorrichtung *d* zum Einstellen des Reglers auf den vorgegebenen Durchsatz.

Dem Reglerschieber wird das Öl mit einem Druck von 18 bis 20 kp/cm<sup>2</sup> vom Stauventil *g* zugeführt, das in die Abfließleitung zur Lenkhilfe geschaltet ist. Der Regler hat eine Gesamtmasse von etwa 14 kg.

Der Schichtdickenfühler ist eine quer zum schrägen Schacht angeordnete Welle mit 3 Tastkufen, die auf den unteren Trüms der Kette des schwimmenden Förderers aufliegen. Die Welle läuft in selbsteinstellenden Lagern, die an den Seitenwänden des schrägen Schachtes angebracht sind. An die rechte Stirnfläche der Welle ist ein Hebel angeschweißt, an dem ein Seil angebunden ist.

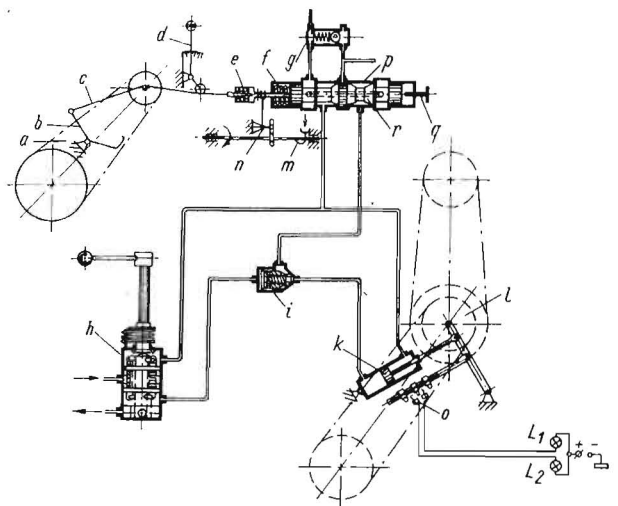


Bild 1. Funktionsschema eines automatischen Durchsatzreglers am Mähdrescher. *a* geneigter Schacht, *b* Schichtdickenfühler, *c* Stab, *d* Einstellvorrichtung, *e* federnde Ausgleichsvorrichtung, *f* Rückdrückfeder, *g* Stauventil, *h* Handsteuerschieber, *i* Umschalter, *k* Hydraulikzylinder, *l* Variator, *m* Kupplungs-Fußhebel, *n* Kulissensteuerung, *o* Kontakte für die Anzeige der äußersten Variatorstellungen, *p* Hydraulikschieber, *q* Begrenzer, *r* Schieberkolben

Übersetzer: Dr.-Ing. W. BALKIN, KDT