

1. Einleitung

Die Heißlufttrocknung landwirtschaftlicher Produkte wurde in den letzten Jahren beachtlich entwickelt. Insbesondere seit der Zuführung leistungsfähiger Trommeltrocknungsanlagen kam es zu einer beträchtlichen Steigerung der jährlich produzierten Trockengutmengie. Der kontinuierliche Charakter der Produktionssteigerung ist besonders deutlich im logarithmischen Maßstab erkennbar (Bild 1). Im Prognosezeitraum ist eine weitere große Steigerung vorgesehen.

Heißlufttrockner sind stationäre Industrieanlagen hoher Arbeitsproduktivität, die einer Automatisierung besonders gut zugänglich sind. Automatisierte Heißlufttrockner sind ein Beispiel für die Realisierung der technischen Revolution auf dem Lande.

Die Aufgaben der Automatisierung solcher Trocknungsanlagen bestehen vor allem in folgendem:

- Sicherung eines weitgehend gleichbleibenden Betriebsablaufs auch bei wechselnden Betriebsparametern, um insbesondere die Trocken-gutqualität zu erhalten;
- Entlastung des Trockenmeisters von der ständigen Kontrolle der Meßinstrumente und der große Erfahrung erfordernden Trockner-führung;
- Sicherung der maximalen Auslastung der Trocknungsanlage durch möglichst enge Herangehen an die höchstzulässigen Betriebspara-meter (z. B. möglichst hohe Trocknungsgastemperatur);
- Schaffung einer großen Betriebssicherheit durch automatische Sicherheitseinrichtungen (z. B. automatische Brandwächter kombi-niert mit CO₂-Löscheinrichtungen).

Besonders bedeutungsvoll ist dabei, die Forderung nach hoher Trockengutqualität zu erfüllen.

Neuere Forschungsarbeiten zeigten, daß bei Übertrocknung des Gutes die Nährstoffgehalte zahlenmäßig zwar weitgehend unverändert bleiben, jedoch die Verdaulichkeit des Eiweißes stark sinkt. Das beruht auf temperaturabhängigen chemi-schen Umsetzungen der Eiweißmoleküle. Die Überhitzung ist eine Begleiterscheinung der Übertrocknung. Da anderer-seits eine nicht ausreichende Trocknung des Gutes ebenfalls nachteilig ist — die Lagerfähigkeit sinkt — muß der Was-

sergehalt des Trockengutes innerhalb enger Grenzen konstant gehalten werden, um Schädigungen nach der einen oder anderen Seite zu vermeiden (Bild 2).

Nach dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse muß der Wassergehalt zwischen 8 und 14 % liegen. Bei mehr als $f = 10\%$ beginnen jedoch Schwierigkeiten beim Vermah-len des Trockengutes, so daß Mahlgut zwischen 8 und 10 % Wassergehalt haben muß. Andererseits wird bei unter $f = 12\%$ das Pressen des Trockengutes zunehmend schwieriger, so daß Preßgut zwischen 12 und 14 % Wassergehalt haben muß. Diese verhältnismäßig engen Toleranzen können nur durch Automatisierung des Trocknungsprozesses eingehalten werden. Im besonderen gilt das, wenn vorgewelktes Gut ver-arbeitet werden soll.

2. Eigenschaften der wichtigsten Regelstrecken am Trockner

Die Regelstrecke „Trockner“ hat folgende wesentliche Ein-gangsgrößen, die z. T. auch als Störgrößen wirksam werden: Trocknungsgastemperatur, Trocknungsgasstrom, Naßgutdurch-satz, Trommeldrehzahl und Naßgutfeuchte.

Ausgangsgrößen sind Abgastemperatur, Abgasfeuchte und Trockengutfeuchte.

Theoretisch läßt sich jede beeinflussbare Eingangsgröße mit jeder kontinuierlich meßbaren Ausgangsgröße zu einer Regel-strecke verknüpfen, es gibt also im vorliegenden Fall 12 Möglichkeiten der einfachen Verknüpfung. In der Praxis kommen aber nur einige wenige Kombinationen in Frage, deren Auswahl zudem noch von der Art der Feuerung (Ol-oder BB-Feuerung) beeinflußt wird.

Die Wahl der Abgastemperatur als Regelgröße hat sich für den Trocknungsprozeß voll bewährt. Bekanntlich wird auch bei nicht automatisierten Trocknern nach der Abgastempe-ratur gefahren. Trocknungsphysikalische Überlegungen zeigen außerdem, daß zwischen Abgastemperatur und Trocken-gutfeuchte ein von den anderen Betriebsparametern nur we-nig beeinflusster Zusammenhang besteht. Der Einfluß der verschiedenen Eingangsgrößen auf die Abgastemperatur ist deshalb von besonderer Bedeutung für die Automatisierung des Trocknungsprozesses und soll im folgenden näher er-örtert werden.

2.1. Trocknungstemperatur als Eingangsgröße

Bei sprunghafter Veränderung der Trocknungsgastemperatur muß zunächst das Temperaturprofil im gesamten Trockner verändert werden, bevor sich die Abgastemperatur ändert. Dem Praktiker ist dieses Wandern der Temperaturwellen aus den Beobachtungen der umlaufenden Trommelthermo-meter bekannt. Denkt man sich die Regelstrecke aus Gliedern 1. Ordnung zusammengesetzt, so gelten für diese folgende Zeitkonstanten:

- T₁ Zeitkonstante der Feuerung,
- T₂ Thermische Verzögerung durch Wärmeträgheit der Trommeleinbau-ten und des in der Trommel befindlichen Gutes, letzteres von der Gutart abhängig,
- T₃ Verzögerung durch die Aufenthaltszeit des Trocknungsgases in Feuerung und Trommel.

In der Anlage Groß-Lüsewitz, einem Trommeltrockner mit Schwerölfeuerung, konnten die charakteristischen Zeiten näherungsweise aus den Registrierstreifen für die Trocknungs-

* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim (Direktor: Obering. O. BOSTELMANN)

¹ Gekürzter Vortrag vor dem KDT-Symposium „Automatisierung in der sozialistischen Landwirtschaft“ am 23. und 24. Mai 1968 in Halle

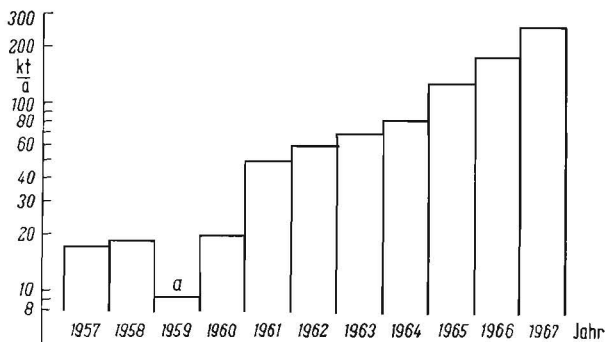


Bild 1. DDR-Trockengutproduktion 1957 bis 1967 im logarithmischen Maßstab; a extrem trockener Sommer

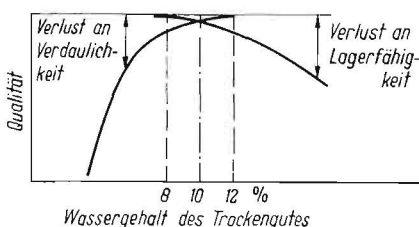


Bild 2. Qualität und Wassergehalt des Trockengutes (schematisch)

gas- und Abgastemperatur nach plötzlicher Veränderung der Ölzufuhr bestimmt werden (Bild 3).

Die Trocknungsgastemperatur verhielt sich hiernach wie die Ausgangsgröße eines Systems erster Ordnung (genauer: wie ein P_0T_1 -System). Die Abgastemperatur verlief nach einem Sprung in der Ölzufuhr wie die Ausgangsgröße eines Systems zweiter bis dritter Ordnung. Totzeit T_t plus Verzugszeit T_u betragen 2 bis 4 min, die Ausgleichszeit T_a wurde zu 24 bis 36 min ermittelt.

Für die Ermittlung des Übertragungsfaktors der Strecke Trocknungsgastemperatur — Abgastemperatur gilt, daß bei Abweichungen vom Betriebspunkt starke Nichtlinearitäten auftreten können, daß aber normalerweise der Übertragungsfaktor zwischen 0,65 und 0,9 grd/grd beträgt.

Der auf die Temperatur bezogene Übertragungsfaktor der Regelstrecke ist kleiner als 1, weil der Abgasstrom um die Wasserverdampfung größer ist als der Trocknungsgasstrom. Da bei einem Dampfkessel der Übertragungsfaktor wesentlich kleiner als 1 ist — er ergänzt den Wärmewirkungsgrad des Kessels auf 100 %, liegt also zwischen 0,1 und 0,5 —, besteht in diesem Punkt auch der größte Unterschied zur Dampfkesselregelung. Die Erfahrungen der Dampfkesselregelung lassen sich deshalb nicht ohne weiteres auf die Regelung von Trocknungsanlagen übertragen!

2.2. Naßgutdurchsatz als Eingangsgröße

Eine sprunghafte Veränderung des Naßgutdurchsatzes führt zu einer erhöhten Verdampfungsleistung insbesondere im ersten Teil der Trommel. Als Folge hiervon kommt es zu einer stärkeren Abkühlung der Trocknungsgase und somit zu einer verminderten Abgastemperatur, verbunden mit einem späteren erhöhten Trockengutwassergehalt.

Die in Glieder erster Ordnung zerlegte Regelstrecke Naßgutdurchsatz — Abgastemperatur enthält folgende Zeitkonstanten:

- T_1 Zeitkonstante der Wasserverdampfung aus dem Gut. Weil die Verdampfungsleistung im ersten Teil der Trommel am größten ist, beträgt T_1 nur einen Bruchteil der Aufenthaltszeit des Gutes im Trockner. T_1 ist stark von der Gutart und vom Wassergehalt abhängig;
- T_2 Thermische Verzögerung durch Wärmeträgheit der Trommeleinbauten und des in der Trommel befindlichen Gutes;
- T_3 Verzögerung der Aufenthaltszeit des Trocknungsgases in der Trommel.

Der Vergleich mit der vorher analysierten Regelstrecke zeigt, daß im wesentlichen lediglich die Zeitkonstante der Feuerung durch die Zeitkonstante der Wasserverdampfung ersetzt ist, die allerdings auch den größten Einfluß hat. In der Anlage Naumburg, einem Trommeltrockner mit BB-Feuerung, wurden im Zusammenhang mit den Regelungsversuchen die einzelnen Kenngrößen näherungsweise bestimmt. Die Regelstrecke Naßgutdurchsatz — Abgastemperatur erwies sich hiernach als ein System dritter Ordnung, das man sich aus 3 Gliedern erster Ordnung mit unterschiedlichen Zeitkonstanten zusammengesetzt denken kann. Die wirksame Summe aus Tot- und Versuchszeit betrug bei Grünfütter zwischen 5 und 8 min, bei Rübenblatt waren es nur noch ≈ 2 min. Totzeit tritt vor allem bei sehr feuchtem Naßgut auf.

Die statische Kennlinie weist nach, daß starke Nichtlinearitäten zu befürchten sind, wenn zu sehr vom Betriebspunkt abgewichen wird. Der Übertragungsfaktor ist jedoch normalerweise genügend groß; bei 500 grd Temperaturdifferenz zwischen Trocknungsgas und Abgas führt eine Durchsatzänderung um 2 % bereits zu einer Abgastemperaturänderung von 10 grd. Der Trockner reagiert also sehr empfindlich auf Durchsatzänderungen, andererseits ist dadurch der Durchsatz eine für die Regelung gut geeignete Stellgröße.

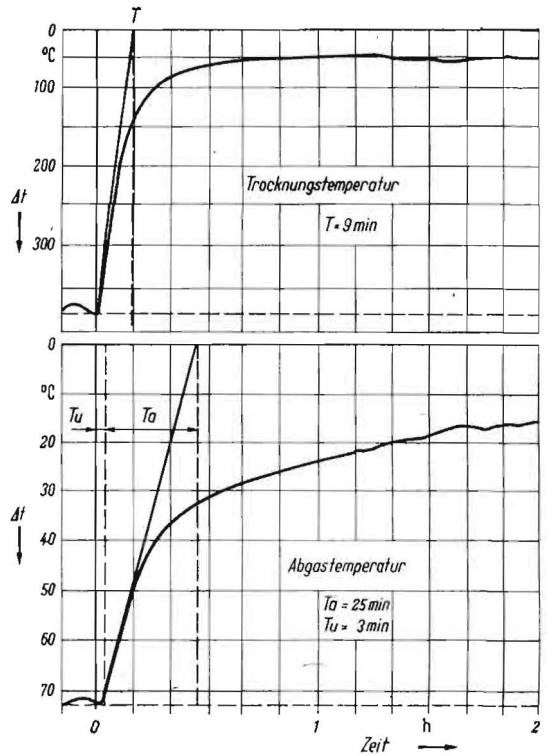


Bild 3. Trocknungsanlage Groß-Lüsewitz. Übergangsfunktionen bei Heizöldrösselung (29. Aug. 1967 — Gras)

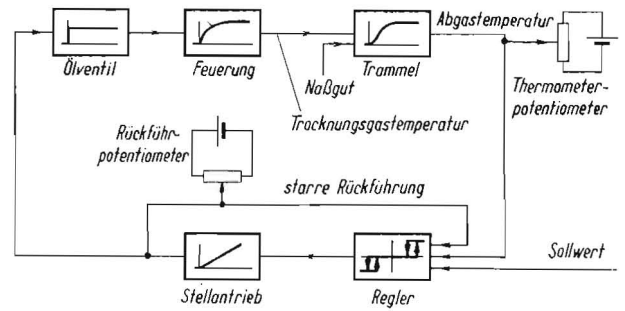


Bild 4. P-ähnliche-Regelung eines Trommeltrockners; Stellglied: Ölventil

3. Messungen an Trocknern mit Regeleinrichtungen

3.1. Stellgröße Öldurchsatz

In der Anlage Groß-Lüsewitz (mit Ölfeuerung) (Bild 4) verdreht ein Federdruckthermometer für die Regelgröße „Abgastemperatur“ ein elektrisches Potentiometer. Bei Überschreiten der Ansprechgrenze der Sollwertabweichung wird über einen elektronischen Schalter der Stellmotor des Ölventils betätigt. Mit dem Motor ist ein Rückführpotentiometer verbunden.

Wissenschaftliche Tagung „...Milchwirtschaft...“

Die Fachverbände „Land- und Forsttechnik“ sowie „Lebensmittelindustrie“ der KDT veranstalten gemeinsam mit der DAG vom 11. bis 13. Dezember 1968 in der Kongreßhalle Leipzig eine Wissenschaftliche Tagung „Rationalisierung der Milchwirtschaft im System der Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft“, deren inhaltliche Leitung das Institut für Milchwissenschaft Oranienburg — Prof. Dr. BRUNCKE — übernommen hat.

Die Tagung soll in 4 Sektionen über Milchwirtschaft in der sozialistischen Landwirtschaft, Technologie der Milche- und -verarbeitung, Ökonomie im Rahmen der Kooperationskette Milch sowie Handel und Absatz von Milchprodukten durchgeführt werden.

Tagungsprogramme sind beim Hauptauschuß der KDT, 108 Berlin, Clara-Zetkin-Straße 115 — 117 anzufordern. A 7428

meter gekoppelt, das als starre Rückführung wirkt, so daß ein P-ähnliches Regelverhalten erzielt wird. Aus einem Registrierstreifen für Trocknungsgas- und Abgastemperatur, der unmittelbar nach der optimalen Einstellung des Reglers durch den Werksmonteure aufgezeichnet worden war, lassen sich folgende charakteristische Größen des geschlossenen Regelkreises gewinnen:

— Periodendauer T_p

Bedingt durch die Ansprechschwelle des elektronischen Schalters traten während der Versuche unterschiedliche Werte der Periodendauer auf. Der die Regelstrecke kennzeichnende minimale Wert betrug recht genau 4 min. Es wurden jedoch auch Regelschwingungen mit 6 min Periodendauer und mehr aufgenommen.

— Übertragungsfaktor des Reglers K_R („Reglerverstärkung“)

Die aus langsamen Regelschwingungen ermittelte Verstärkung des Reglers (bezogen auf die Trocknungsgastemperatur) lag zwischen 30 und 45 grad/grad, d. h. 1 grad Temperaturabweichung der Abluft hatte im Mittel 38 grad Temperaturabweichung des Trocknungsgases mit umgekehrtem Vorzeichen zur Folge.

— Regelkreisverstärkung $V_0 = K_R \cdot K_S$

Da der Übertragungsfaktor K_S der Regelstrecke Trocknungsgastemperatur – Abgastemperatur etwa 0,8 grad/grad beträgt, entspricht die Kreisverstärkung V_0 größenordnungsmäßig beim Übertragungsfaktor des Reglers K_R . Die Kreisverstärkung V_0 lag somit etwa zwischen 25 und 40.

— Güte der Regelung

Die von Störgrößen herrührende Schwankungsbreite der Regelgröße, ermittelt aus den über längere Zeit auftretenden unregelmäßigen Schwankungen, betrug maximal 10 grad, die Abweichung vom Mittelwert war somit geringer als ± 5 grad. Die von den Regelschwingungen verursachte Schwankungsbreite der Regelgröße, ermittelt aus den kurzfristigen, regelmäßigen Schwankungen, betrug nur etwa 2 grad, das bedeutet ± 1 grad Abweichung. Die eingestellte Reglerverstärkung kann somit als guter Kompromiß zwischen möglichst kleinem Regelfaktor $R = 1/(1 \times V_0)$ und möglichst geringem Pendeln angesehen werden. Das Pendeln ist vor allem auf die Nichtlinearität (Ansprechschwelle) des Reglers zurückzuführen.

3.2. Stellgröße Naßgutdurchsatz

In der Anlage Naumburg, einem Trommeltrockner mit BB-Feuerung, wurden mit einem im IML Potsdam-Bornim zusammengestellten, einfachen elektronischen Regler zwei Versuchsreihen gefahren. Beim ersten Versuch arbeitete der Regler als P-ähnlicher Impulsregler mit starrer Rückführung vom Stellglied aus (Bild 5), bei der zweiten Versuchsreihe lief der Regler als PI-ähnlicher Regler mit innerer Impulsrückführung, so daß die Rückführung vom Stellglied aus entfallen konnte (Bild 6).

Bei beiden Versuchen wurde die Regelung mitunter durch zeitweiligen Naßgutmangel in der Dosierbandgrube gestört. Es wurden folgende Eigenschaften ermittelt:

— Periodendauer T_p

Die Periodendauer der Regelschwingungen betrug bei der Trocknung von Gras zwischen 21 und 29 min. Bei der Trocknung von Rübenblatt verminderte sich die Periodendauer beträchtlich, sie betrug nur noch etwa 8 min.

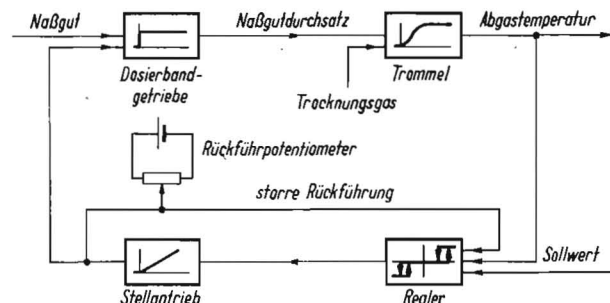


Bild 5. P-ähnliche Regelung eines Trommeltrockners; Stellglied: Dosierbandgetriebe

— Güte der Regelung bei verschiedenen Regelkreisverstärkungen

Die Schwankungsbreite der Abgastemperatur war bei Gras (Versuch mit P-Regler) größer als bei Rübenblatt (Versuch mit PI-Regler).

Bei der Trocknung von Rübenblatt verbesserte sich das Regelverhalten. Die Schwankungsbreite der Abgastemperatur verringerte sich durchweg auf 5 grad, wobei die bleibenden Regelabweichungen der reinen P-Regelung wegen der jetzt verwendeten PI-Regelung nicht mehr auftraten. Der Einfluß der Reglerverstärkung trat durch die Wirkung des I-Gliedes zurück; er war auf dem Registrierstreifen nicht mehr erkennbar.

Bei Rübenblatt war die Regelgüte so ausgezeichnet, daß an dem recht träge anzeigenden Betriebsinstrument für die Ablufttemperatur überhaupt keine Schwankungen mehr beobachtet werden konnten.

4. Anwendbarkeit verschiedener Reglersysteme

Über den Einsatz verschiedener Reglersysteme liegen bereits Erfahrungen vor, so daß einige Schlußfolgerungen über deren Eignung gezogen werden können.

In Naumburg wurde eine Regeleinrichtung auf der Basis von Normaldruckpneumatik installiert. Dieses System hat sich im praktischen Einsatz nicht bewährt, so daß es stillgelegt werden mußte. Die Ursache ist darin zu suchen, daß von der aufwendigen Luftaufbereitungsanlage Abstand genommen worden war, wodurch nachfolgend Störungen an den Reglerbausteinen auftraten. Außerdem entsprach die Projektierung der Regeleinrichtungen nicht den Besonderheiten der Heißlufttrocknung.

In Grimma wurde in Verbindung mit einer Gasfeuerung eine ölhydraulische Regeleinrichtung aufgebaut. Diese hat bislang im wesentlichen die in sie gesetzten Erwartungen insbesondere in bezug auf die Gasfeuerung erfüllt. Die Regelung des eigentlichen Trocknungsprozesses führte zu einer Verbesserung gegenüber reinem Handbetrieb. Bei der Projektierung der Anlage wurden ebenfalls die Besonderheiten des Trocknungsprozesses nicht genügend beachtet.

Für die neue Trocknungsanlage UT 66 wurde ein Projekt auf der Basis elektronischer Regeleinrichtungen erarbeitet. Auf die Stellglieder wirken magnetische Verstärker und Ferrarismotoren. Von der Funktion der Regeleinrichtung her ist zu erwarten, daß alle gestellten Forderungen erfüllt werden. Beachtlich bleibt jedoch der Preis des BMSR-Teils, der höher liegt als der Preis des eigentlichen Trocknungsaggregates, der Trommel (ohne Antrieb und Fundament). Obwohl der relative Anteil der BMSR-Technik an den Gesamtinvestitionskosten „nur“ 5 % beträgt — das ist im Verhältnis zu anderen Arbeitsprozessen in der Landwirtschaft extrem niedrig — erheben wir die Forderung, diese Kosten ohne Beeinträchtigung des Gebrauchswertes oder der Regelgüte etwa auf die Hälfte zu senken. Die Möglichkeit hierfür bietet das Analog-Niederdruckpneumatik-System kombiniert mit kompakten hydraulischen Reglerblöcken. Die für den Trocknungsprozeß notwendigen Nachstellzeiten bis 1000 s

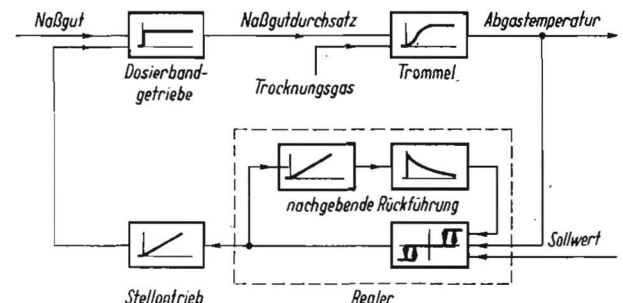


Bild 6. PI-ähnliche Regelung eines Trommeltrockners; Stellglied: Dosierbandgetriebe

können ohne weiteres mit 2 Membranspeichern und einem Einstellwiderstand realisiert werden. Die Regelung des Saugzuges, der in der Größenordnung von 60 mm WS liegt, kann u. U. sogar ohne Meßumformer erfolgen. Der Wegfall einer teuren Luftaufbereitungsanlage läßt die Vorteile des pneumatischen Reglersystems voll zur Geltung kommen. Bei der Installation der Einrichtungen im Trockenwerk ist jedoch nach wie vor auf den rauen Betrieb Rücksicht zu nehmen, u. a. besteht die Gefahr von Rattenfraß!

Für die Zukunft ist eine enge vertraglich gebundene Zusammenarbeit zwischen Trocknerindustrie (ZFE Halle — GRW Teltow) und unserem Institut vorgesehen, mit dem Ziel, ein in jeder Hinsicht optimales regeltechnisches Projekt für die

zukünftigen Trockner zu entwickeln, das einfach, betriebsicher, exakt und wenig kostenaufwendig ist.

5. Zusammenfassung

Der wichtigste Impuls zur Automatisierung des Trocknungsprozesses geht von der Forderung zur Erhaltung der Trockengutqualität aus. Die Regelstrecken am Trockner weisen einige Besonderheiten auf. Wichtigste Meßgröße ist die Abgastemperatur. Theoretisch und praktisch konnte nachgewiesen werden, daß der Trocknungsprozeß mit relativ einfachen Mitteln gut regelbar ist. Unter den verschiedenen Regelsystemen ist das Analog-System kombiniert mit hydraulischen Reglerblöcken besonders aussichtsreich. A 7365

Möglichkeiten des Einsatzes der MSR-Technik im Pflanzenschutz¹

Ing. H. BLEISE, KDT, VEB BBG LEIPZIG

Im Nachfolgenden soll untersucht werden, inwieweit sich Bedienung und Überwachung der Pflanzenschutzmaschine mechanisieren oder sogar automatisieren lassen.

„Mechanisieren“ heißt dabei das Verringern des Kraft- und Zeitaufwands eines bestimmten Arbeitsgangs, z. B. Ausschwenken der Feldspritzrohre von Transport- in Arbeitsstellung, wobei der Traktorist auf seinem Traktor sitzen bleibt.

„Automatisieren“ bedeutet hier die vom Traktoristen unabhängige Gestaltung des Arbeitsablaufs in der Maschine mit dem Ziel, einen für die Arbeitsqualität der Maschine wichtigen Wert konstant zu halten bzw. ihn so zu korrigieren, daß die Arbeitsqualität konstant bleibt, z. B. das Konstanthalten der Aufwandmenge unabhängig von Schwankungen der Fahrgeschwindigkeit und des Druckes. Dabei sollen vorerst die Kosten für eine derartige Einrichtung vernachlässigt werden.

Welche Möglichkeiten zur Mechanisierung und Automatisierung an Pflanzenschutzmaschinen gibt es:

1. Schwenken der Spritzrohre von Transport- in Arbeitsstellung und umgekehrt vom Traktorsitz aus;
2. Öffnen und Schließen der Düsenventile mit elektrischer oder hydraulischer Hilfsenergie, Ziehen an der Zugleine entfällt;
3. Konstanthalten der Aufwandmenge unabhängig von Fahrgeschwindigkeits- und Druckschwankungen sowie Düsenverschleiß;
4. Anzeige beim Traktoristen bei Ausfall einzelner Düsen (hier wäre es jedoch richtiger zu versuchen, die Düsen so funktions sicher zu gestalten, daß sie nicht ausfallen);
5. Füllstandsanzeige vorn beim Traktoristen;
6. Markierung der Arbeitsbreite;
7. Ausgleich der Höhenschwankung bei Spritzrohren mit großer Arbeitsbreite.

Diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Allein die genannten Möglichkeiten bergen in sich eine Reihe technischer und ökonomischer Probleme, die so umfangreich sind, daß hier nicht alle behandelt werden können. Es wird deshalb einer der wichtigsten Punkte herausgegriffen und untersucht:

Das Konstanthalten der Aufwandmenge

unabhängig von Fahrgeschwindigkeits- und Druckschwankungen sowie Düsenverschleiß.

Betrachtet man die Ungenauigkeiten, die durch Fahrgeschwindigkeitsschwankungen auftreten können, als primär und die durch Druck und Verschleiß hervorgerufenen Ungenauigkeiten als vernachlässigbar klein, so genügt es, eine einfache Steuerung einzusetzen. Diese würde im Prinzip etwa

so erfolgen, daß ein vom Rad der Maschine angetriebener Fliehkraftregler den Flüssigkeitsdruck der Düsen steuert. Bei Abweichungen von der vorgeschriebenen Fahrgeschwindigkeit würde dann der Druck entsprechend erhöht oder verringert und dadurch die Aufwandmenge gesteuert. Voraussetzung ist, daß vor der Arbeit durch eine Kontrolldosierung festgestellt wird, bei welchem Druck die gewünschte Durchflußmenge vorhanden ist, damit der Fliehkraftregler entsprechend eingestellt werden kann. Diese Kontrolldosierung muß man nach jeweils etwa 20 bis 30 Betriebsstunden wiederholen, um den Düsenverschleiß zu berücksichtigen. Weiterhin wäre die Fertigungsgenauigkeit der Düsen untereinander bedeutend zu verbessern. Dies ist jedoch mit einer bedeutenden Kostensteigerung verbunden. Möglicherweise ist es sinnvoller, die Düsen zu klassifizieren, d. h. durch ein geeignetes Prüfverfahren müßten die Düsen einer Größe nach gleichen Toleranzen sortiert, gekennzeichnet und dann satzweise ausgeliefert werden. Man könnte also an einer Maschine nicht mehr einzelne Düsen auswechseln. Genauso müßte mit Drallkörpern verfahren werden, da diese ebenfalls einen großen Einfluß auf die Durchflußmenge ausüben. Mit diesen Maßnahmen hätte man die wesentlichsten Genauigkeitsfaktoren der Düsen unter Kontrolle. Wie groß der Einfluß der Düsentoleranz auf die Durchflußmenge ist, zeigt Bild 1. Man erkennt, daß die erforderliche Toleranz von der Düsengröße abhängig ist; die Einhaltung kleiner Toleranzen erfordert erhöhten technologischen Aufwand. Das Bild zeigt auch, welchen Einfluß der Verschleiß hat. Wird z. B. bei

¹ Aus einem Vortrag auf der 5. Pflanzenschutztechnischen Tagung der KDT am 14. u. 15. Nov. 1967 in Weimar

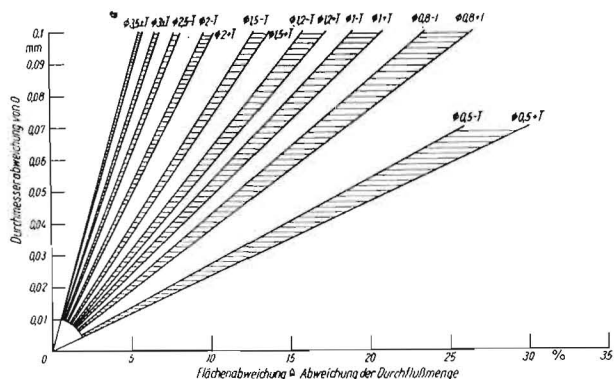


Bild 1. Zusammenhang zwischen Durchmesser- und Durchflußabweichung bei Düsenbohrungen. Parameter: Ø der Düsenbohrung