

dige Meßwerterfassungssystem wiedergegeben. Benötigt werden:

- Außenlufttemperatur t_e (mit zusätzlichem Einzelabgleich)
- Zulufttemperatur t_z (mit zusätzlichem Einzelabgleich)
- Kartoffeltemperatur t_{s1} , t_{s2} , t_{s3} (obere Behälter)
- Raumlufttemperatur t_{R1} , t_{R2} (Behälterzwischenraum obere Behälter, Nähe Zuluftkanal)
- Grenztemperatur t_G (in Lukennähe am Behälterstapel, übernimmt die Funktion des Zuluftfühlers bei freier Lüftung).

Die funktionelle Verknüpfung der Meßwerte der Raumlufttemperatur und der Kartoffeltemperatur ist patentrechtlich geschützt [4].

Auf der Grundlage dieser gewonnenen Meßwerte, die im Meßzyklus von 1 min abgefragt werden, erfolgt die Erprobung der Anwendersoftware. Ein Teilbaustein dieser Software ist die Steuerung der Lukenbetätigung.

Bild 5 verdeutlicht einen stark vereinfachten Programmablaufplan ohne Selbstoptimierung in bezug auf die untere zulässige Schaltschwelle t_{ku} . Diese muß entsprechend dem Lagerhaustyp und der Lage des Lagerhauses im Gelände anhand von Erfahrungen

festgelegt werden. Gemessen werden t_e und t_G , während außerdem in Abhängigkeit von anderen Programmteilen die obere Schaltschwelle t_{ko} vorgegeben ist. Im Anschluß daran wird kontrolliert, ob die Außenlufttemperatur Werte erreicht, die außerhalb des Bereichs zwischen der oberen und der unteren Schaltschwelle liegen. Ist dies der Fall, werden die Luken geschlossen bzw. bleiben geschlossen. Liegt die Außenlufttemperatur innerhalb dieses Bereichs, sind die Luken zu öffnen bzw. bleiben offen. Bei geöffneten Luken wird weiter kontrolliert, ob der zulässige Mindestwert von t_{Gmin} (z. B. $1,0^\circ\text{C}$) unterschritten wird. Ist dies der Fall, werden die Luken geschlossen. Eine Mehrfachabfrage sichert, daß die Luken solange geschlossen bleiben, bis der Grenzwert wieder $0,5\text{ K}$ über der zulässigen Untergrenze, also im vorliegenden Beispiel bei $1,5^\circ\text{C}$, liegt. Durch die unmittelbare Nähe zum „Wärmelieferanten“ Behälterstapel kann der Wiederanstieg in wenigen Minuten erfolgen. Liegt die Außenlufttemperatur dann immer noch im zulässigen Bereich, fahren die Luken wieder auf. Dieses Verhalten der Regelstrecke kann zu einem unerwünschten ständigen Auf- und Zufahren der Luken führen. Deshalb ist es z. B. sinnvoller, gleichzeitig mit dem Schließen der Luken bei Unterschreiten von t_{Gmin}

die Schaltschwelle t_{ku} um einen Schaltschritt Δt_{ku} anzuheben (Bild 6). Damit werden die Luken erst nach entsprechender Änderung der Außenlufttemperatur wieder geöffnet. Die untere Schaltschwelle wird vom Rechner selbst gesucht.

Abhängig von den Witterungsbedingungen werden die vorhandenen Möglichkeiten der Anwendung der freien Lüftung in hohem Maß genutzt.

Die hier dargestellte Steuerung der freien Lüftung trägt repräsentativen Charakter für die Gesamtkonzeption einer solchen Klimaführung im Behälterstapel, die optimale Lagerparameter bei minimalem Energieverbrauch ermöglicht.

Literatur

- [1] Hegner, H.-J.; Maltry, W.; Delmhorst, P.; Wittchen, G.: Entwicklung von Belüftungssystemen für Pflanzkartoffelbehälterlager in der DDR. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 7, S. 299-302.
- [2] Hegner, H.-J.: Automatisierungsmöglichkeiten der Belüftung in Kartoffellagerhäusern. agrartechnik, Berlin 27 (1977) 8, S. 345-347.
- [3] TGL 21 240/04 Saat- und Pflanzgut, Pflanzenproduktion; Lagerung in Lagerhäusern und belüftbaren Großmieten. Ausg. Sept. 1980, verbindlich ab 1. Juni 1981.
- [4] WP 24 F / 302060/8' Verfahren zur Klimaführung in Behälterlagern. Ausg. 23. April 1987.

A 5067

Untersuchungen zur automatischen Tiefenführung der Kartoffelaufnahmeelemente

Prof. Dr. sc. techn. P. Jakob, KDT

Humboldt-Universität Berlin, Sektion Nahrungsgüterwirtschaft und Lebensmitteltechnologie

Verwendete Formelzeichen

D	m^{-1}	Dämpfung
e^{-PT}		Frequenzgang des Totzeitgliedes
F_0		Frequenzgang der Regelkreisette
F_1		theoretischer Frequenzgang des geschlossenen Kreises
F_A		Frequenzgang des Arbeitszylinders
F_R		Frequenzgang des Reglers
F_S		Frequenzgang der Regelstrecke
F_U		Frequenzgang des Übertragungsgliedes
F_V		Frequenzgang des Vorlaufs
K_i	$\frac{\text{cm/s}}{\text{l/min}}$	Verstärkungsfaktor des Arbeitszylinders
K_R	$\frac{\text{l/min}}{\text{mm}}$	Verstärkungsfaktor des Regelkreises
K_S		Verstärkungsfaktor der Regelstrecke
K_U		Verstärkungsfaktor des Übertragungsgliedes
p		Operator
s_{vo}	mm	optimaler Vorlaufweg
T	s	Integrationszeit
T_1, T_2	s	Zeitkonstanten des Regelventils
T_S	s	Zeitkonstante der Regelstrecke
T_t	s	Totzeit
T_t^*	s	Ersatztotzeit
T_v	s	Vorlaufzeit der Regelstrecke
v_f	m/s	Fahrgeschwindigkeit
Z_{11}, Z_{12}		Störgrößen rechtes Vorderrad, rechtes Hinterrad, linkes Vorderrad, linkes Hinterrad

Bei der Aufnahme der Kartoffelknollen ist es erforderlich, möglichst wenig Beimengungen (Steine, Kluten, Erde, Kartoffelkraut und Unkraut) aufzunehmen. Die Kartoffelaufnahmeelemente müssen deshalb an der unteren Hüllkurve (Grenze) des Kartoffelnestes arbeiten.

Liegen die Aufnahmeelemente in der Arbeitstiefe zu hoch, so werden die Kartoffeln beschädigt. Um die Störungen durch auftretende Bodenunebenheiten (Dammkronenveränderungen) auszugleichen, ist eine Regelung der Aufnahmetiefe notwendig. Als Störgrößen treten die Abweichungen in der Wuchsraumgeometrie (Bodenunebenheiten) und die Bodenfestigkeit auf. Die Oberfläche des Damms (Dammkrone) kann als Führungsgröße verwendet werden.

Das Übertragungsverhalten des Regelkreises kann nur durch Kennwertermittlung bestimmt werden. Für die Regelung der Aufnahmetiefe ist eine Wegmeßeinrichtung erforderlich. Ein Dreipunkt-Wegmeßfühler ist wegen der geringen Kosten und der hohen Zuverlässigkeit besonders geeignet. Als Stellglied wird ein Hydraulikzylinder verwendet.

Die untersuchte automatische Tiefenführung eines in zwei Ebenen beweglichen Siebra-

mens mit vier Kartoffelaufnahmeelementen wird durch zwei weitgehend voneinander unabhängige Regelkreise realisiert. Je ein Regelkreis führt den Siebrahmen nach dem Mittelwert der Dammkronenhöhen. Der Aufbau beider Regelkreise ist gleich.

Im Bild 1 sind die Übertragungsfunktionen für die verwendeten Regelkreisglieder angegeben [1].

Der Vorlauf des Tasters (Tastrolle) gegenüber den Spitzen der Kartoffelaufnahmeelemente ist durch die jeweilige Maschinenkonzeption vorgegeben. Dieser Vorlauf verursacht eine zeitliche Voreilung der Führungsgrößeninformation.

Als Störgröße wirkt die Maschine (Versuchsträger) direkt auf die Regelgröße Werkzeughöhe (Höhe der Kartoffelaufnahmeelemente) [2].

Neben den Verzögerungen und der Totzeit wird das Verhalten des Regelkreises wesentlich vom Zusammenwirken des P-Reglers (Regelventil) mit dem integral wirkenden Stellantrieb (Arbeitszylinder) bestimmt. Der Frequenzgang des geschlossenen Regelkreises wird:

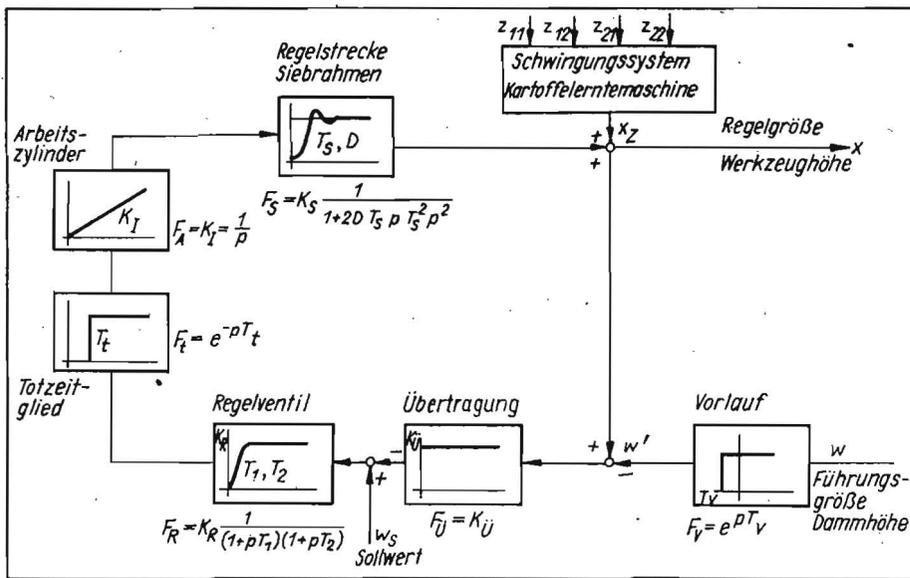
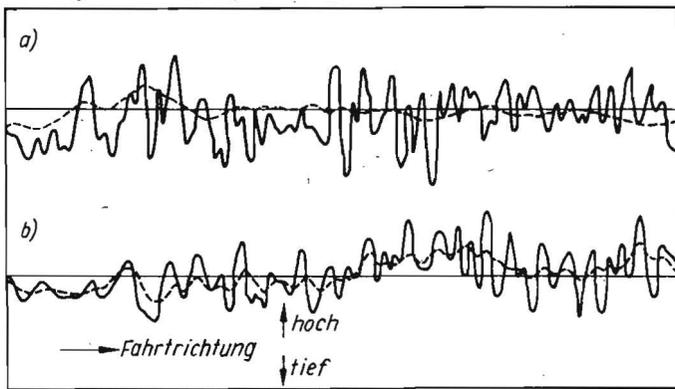


Bild 1. Projektierter Regelkreis [1]

Bild 2. Nachführung der Werkzeuge bei hoher Fahrgeschwindigkeit [1]

a) Dammdruckwalzen; Entlastung 50 %, Fahrgeschwindigkeit 2,3 m/s, $s = 21$ m, einfache mittlere Abweichung 11 mm
 b) Regelung; Verstärkung $K = 7 \text{ s}^{-1}$, Fahrgeschwindigkeit 2,2 m/s, $s = 20$ m, einfache mittlere Abweichung 5,4 mm
 ——— Dammkrone über den Werkzeugspitzen
 - - - - - Bewegung der Werkzeugspitzen



$$F_1 = \frac{F_0}{1 + F_0} = \frac{K_U K_R K_I K_S}{p(1 + 2D T_S p + T_S^2 p^2) (1 + p T_1) (1 + p T_2) e^{-p T_t} + K_U K_R K_I K_S}$$

Es ist keine bleibende Regelabweichung zu erwarten. Der Einschwingvorgang läßt sich durch geeignete Auswahl der Verstärkung beeinflussen.

Der Vorlauf wirkt sich bei geeigneter Auswahl des Vorlaufweges positiv auf die Regelgröße aus. Der optimale Vorlaufweg ist von der Maschinengeschwindigkeit abhängig. Die Ersatztotzeit T_t^* ist als Approximation aller im Regelkreis vorkommenden Verzögerungen und Totzeiten definiert, so daß man den optimalen Vorlaufweg abschätzen kann.

Bei $T_t^* = 0,1 \text{ s}$ und $v_F = 1,2 \text{ m/s}$ wird $s_{v0} = v_F T_t^* = 120 \text{ mm}$.

Dieser Vorlaufweg läßt sich nicht realisieren. Da der realisierbare minimale Vorlaufweg wesentlich größer ist, wird vorgeschlagen, den optimalen Vorlaufweg um den halben Nestabstand zu erweitern.

Bei den experimentellen Untersuchungen erfolgte die Erfassung der Höhenänderungen der Tastelemente und Aufnahmewerkzeuge mit einem Präzisionsgeberpotentiometer. Registriert wurden diese Vorgänge von einem

Acht-Schleifen-Oszillographen. Als gemeinsame Basis aller Höhenveränderungen wird der Versuchsträgerrahmen betrachtet. Da dieser Versuchsträgerrahmen meist nur geringfügige niederfrequente Vertikalbewegungen ausführt, kann die von den Meßtastrollen erfaßte Höhenbewegung als Dammhöhenverlauf betrachtet werden.

Die im Bild 2 dargestellten Meßergebnisse sind nur eine repräsentative Auswahl aus den Erprobungsergebnissen [1]. Sie sind jedoch charakteristisch für die jeweilige Art der Nachführung und die daraus resultierenden Arbeitsbedingungen und ermöglichen weiterhin eine Gegenüberstellung der Führungsarten. Die Eingangsgrößen, d. h. die Dammhöhenverläufe, entsprechen den natürlichen Gegebenheiten und sind stochastischer Art. Die Einstellkennwerte Verstärkung der automatischen Nachführung, Entlastung der mechanischen Nachführung und Vorlauf der Tastrollen bzw. Dammdruckwalzen wurden in vorangegangenen Untersuchungen optimiert [1].

Den Verlauf der mittleren Abweichungen für die mechanische und automatische Tiefen-

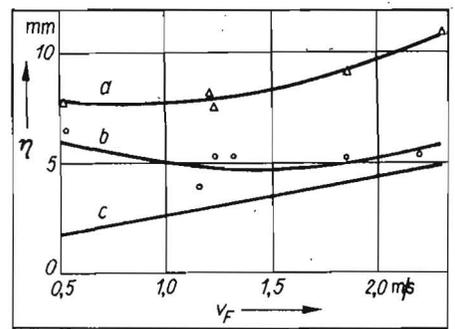
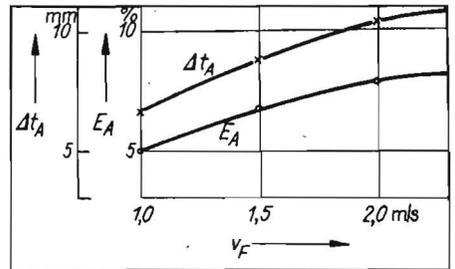


Bild 3. Einfache und mittlere Abweichungen der mechanischen und automatischen Tiefenführung als Funktion der Fahrgeschwindigkeit [1]; a mechanische Tiefenführung, b automatische Tiefenführung, c Differenz der mittleren Abweichungen

Bild 4. Unterschiede der mechanischen und automatischen Tiefenführung hinsichtlich Vergrößerung der Arbeitstiefe und des aufzunehmenden Dammvolumens in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit [1]; Δt_A notwendige größere Arbeitstiefe bei mechanischer Tiefenführung; E_A relative Zunahme des aufzunehmenden Dammvolumens bei mechanischer Tiefenführung.



führung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit zeigt Bild 3.

Die Zunahme der Abweichungen der mechanischen Tiefenführung resultiert u. a. aus den geschwindigkeitsabhängigen Trägheitskräften des Teilsystems, der Rückwirkung auf die Führungsgröße und dem nicht kompensierbaren Vorlauf der Dammdruckwalzen. Die Abweichungen der automatischen Tiefenführung sind im Bereich von $v_F = 1 \dots 2,3 \text{ m/s}$ minimal und nahezu geschwindigkeitsunabhängig.

Für den interessierenden Geschwindigkeitsbereich ergibt sich eine Zunahme des aufzunehmenden Dammvolumens bei mechanischer Tiefenführung von 5 bis 8% gegenüber der automatischen Tiefenführung. Die notwendige Vergrößerung der Arbeitstiefe reicht dabei bis 11 mm. Außerdem wird unterstellt, daß beide Tiefenführungsvarianten hinsichtlich der Arbeitstiefe der Aufnahmewerkzeuge optimal eingestellt sind. Im Bild 4 sind die Ergebnisse des Vergleichs der beiden Tiefenführungen grafisch dargestellt.

Literatur

- [1] Jakob, P.: Beitrag zur beimengungsarmen Kartoffelaufnahme. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation B 1978.
- [2] Jakob, P., u. a.: Kartoffelaufnahmeelemente – Effektivere Verfahren. VEB Weimar-Kombinat, Bericht 1974 (unveröffentlicht). A 2832/II