

# Mikrorechnereinsatz zur Automatisierung der Belüftung in Pflanzkartoffel-ALV-Anlagen auf Behälterbasis mit Kombinationslüftung

Dr.-Ing. H.-J. Hegner, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR  
 Dipl.-Math. H. Cyranka, VEB Anwendung Mikroelektronik Erfurt  
 Staatl. gepr. Landw. G. Wittchen, VEB Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg

In der DDR werden gegenwärtig über 1000 kt Pflanzkartoffeln in Aufbereitungs-, Lager- und Vermarktungsanlagen (ALV-Anlagen) in Behältern gelagert. Die Abführung der Wärme- und Stofflasten erfolgt mit Ausnahme einiger weniger kleiner Lagerhäuser ausschließlich durch Umspülung der Einzelbehälter. Durch Auswahl geeigneter Außenluftzustände in bezug auf Temperatur und Luftfeuchte für die zugeführte Luft werden Potentialunterschiede zwischen der Kartoffelschüttung im Behälter und in den Behälterzwischenräumen erzeugt. Die Potentialunterschiede bewirken den Wärme- und Stofftransport aus den Behältern und damit die Klimatisierung der Kartoffeln. Ungefähr zwei Drittel der Lagerkapazitäten mit Behältertechnologien wurden nach Angebotsprojekten des VEB Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg errichtet. Zur Klimatisierung derartiger Lagerhäuser dient mit zunehmendem Anwendungsumfang eine Kombination aus mechanischer Belüftung mit Ventilatoren und freier Lüftung über Luken, die in den Außenwänden in Deckennähe angeordnet sind [1]. Die mechanische Belüftung wird perspektivisch weitestgehend als Wurflüftung realisiert. Die Bewirtschaftung der ALV-Anlagen mit ihren bis zu 12 Belüftungseinheiten, die jeweils ein Fassungsvermögen von 1250 bis 2000 t haben, erfolgt zum größten Teil noch im

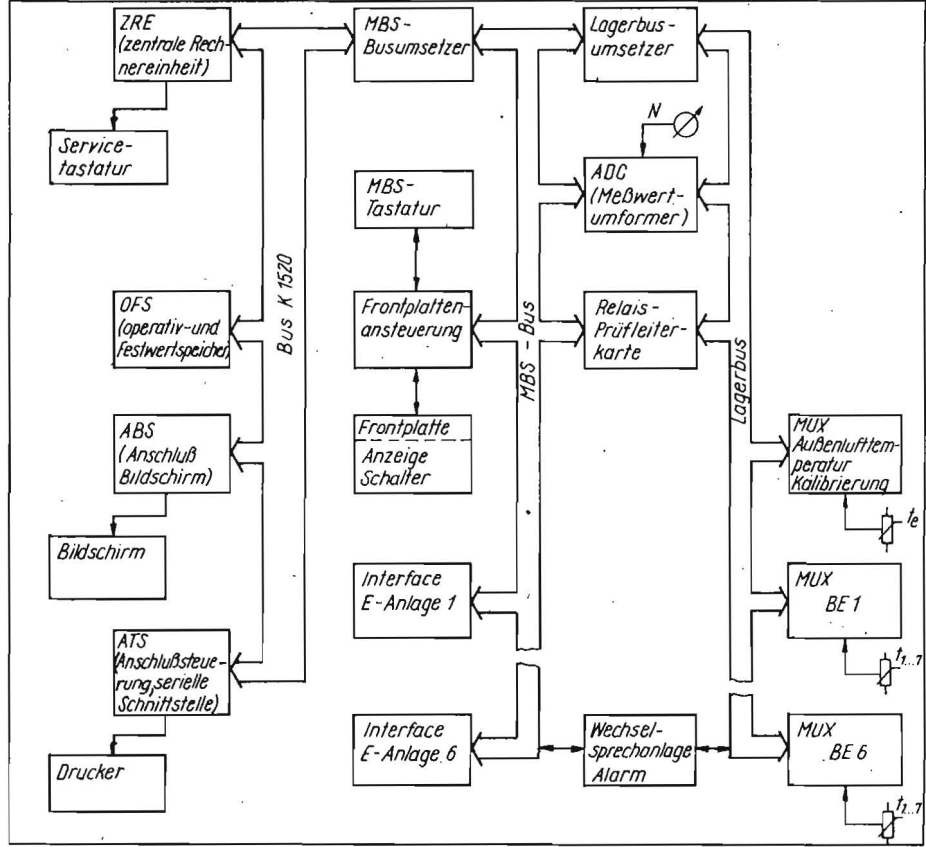
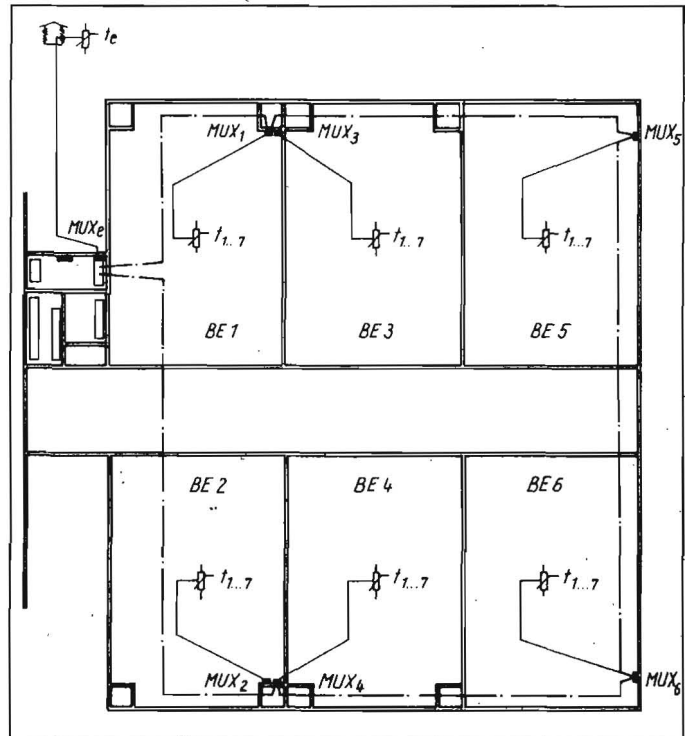
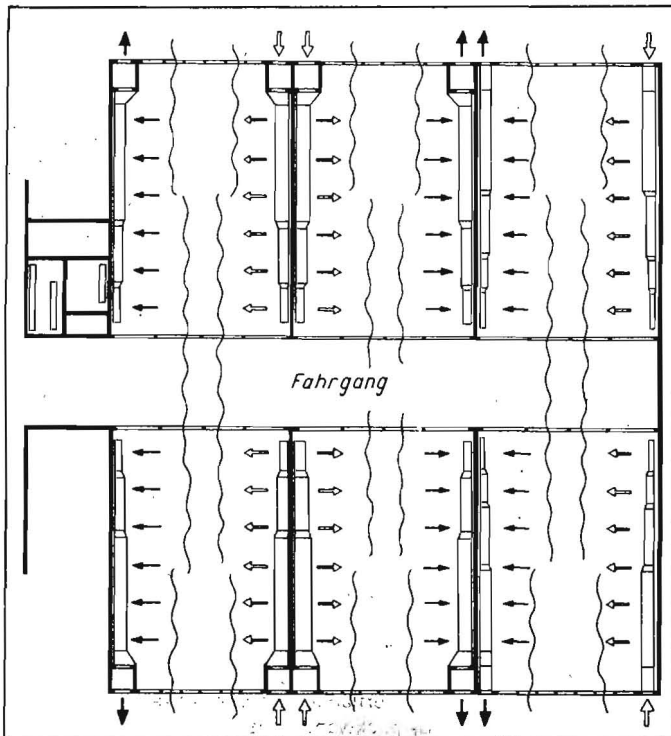
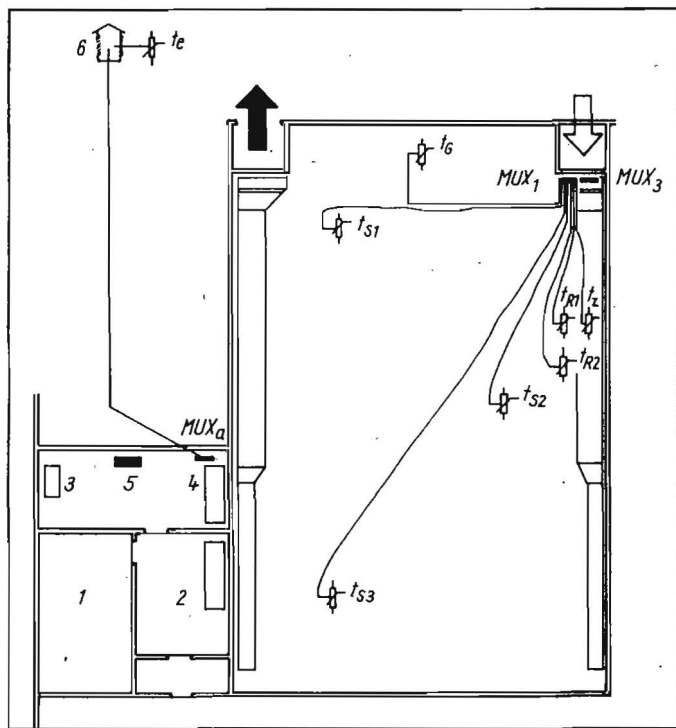


Bild 1. Einordnung der Kombination von Wurflüftung und freier Lüftung in eine 12-kt-ALV-Anlage für Pflanzkartoffeln mit Behältertechnologie

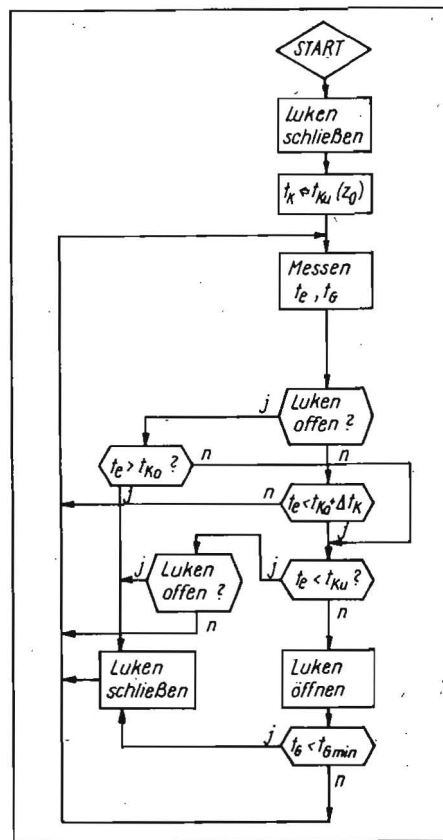
Bild 2. Prinzipschaltung des Prozeßsteuerrechners MBS01  
 Bild 3. Anordnung der Temperaturfühler und Multiplexer in der Lagerhalle





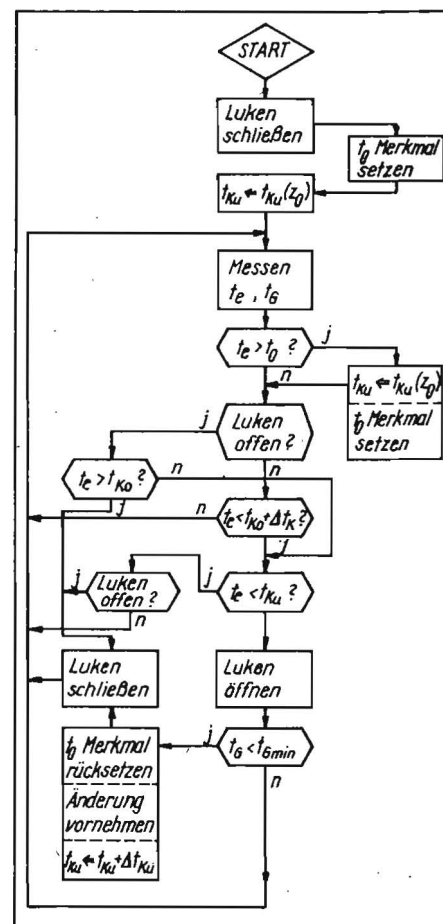
**Bild 4**  
Anordnung der Temperaturfühler und Multiplexer in einer Belüftungseinheit;  
1 Schaltraum E-Anlage, 2 Schaltpult Handzweig, 3 Steuerschrank E-Anlage, 4 Prozeßsteuerrechner MBS01 in Konfiguration Tastatur, Bildschirm und Drucker, 5 Klimatruhe KST 160, 6 Wetterhütte, 2 m über OKF auf der windzugewandten Gebäudeseite, rd. 20 m vom Gebäude entfernt

**Bild 5**  
Programmablaufplan zur Lukenregelung nach Außenluft-, Stapel- und Grenztemperatur;



$z_0$  Startzeitpunkt,  $t_e$  Außenlufttemperatur,  $t_k$  Schaltschwelle,  $t_{ku}$  untere Schaltschwelle,  $t_{ko}$  obere Schaltschwelle,  $\Delta t_k$  Schalthysterese,  $t_g$  Temperatur der einströmenden Luft,  $t_{gmin}$  Grenztemperatur (zulässiger Mindestwert)

**Bild 6.** Programmablaufplan zur Lukenregelung mit Selbstoptimierung; Legende s. Bild 5,  $\Delta t_{ku}$  Schrittweite zum Anheben von  $t_{ku}$



Handbetrieb. Ventilatoren, Regelklappen und z. T. auch die Luken werden anhand von Messungen der Außenlufttemperatur, ggf. auch der Außenluftfeuchte und der Kartoffeltemperatur, vom zentralen Schaltraum aus betätigt.

In 82 Belüftungseinheiten von Lagerhäusern mit Wurflüftung ist der zu Beginn der siebziger Jahre entwickelte BMSR-Schrank MEPO4 im Einsatz [2]. Die Lukenbetätigung, die ebenfalls durch diesen BMSR-Schrank realisiert wird, funktioniert so, daß die obere Schließgrenze über die Außenlufttemperatur an die Kartoffeltemperatur „gebunden“ ist und die untere Schließgrenze durch die Einstellung eines in Lukennähe angeordneten Frostschutzthermostaten bestimmt wird. Diese BMSR-Technik soll in den nächsten Jahren von der Mikrorechnerentechnik mit einem neu konzipierten Meßwertfassungssystem abgelöst werden. Der Anwendungsumfang wird sich zudem auf den überwiegenden Teil aller Pflanzkartoffel-ALV-Anlagen mit der Kombination von Wurflüftung und freier Lüftung ausdehnen.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf diesem Gebiet erfolgt seit 1986 in Kooperation zwischen dem VEB Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg, dem Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, dem VEB Anwendung Mikroelektronik Erfurt und der ALV-Anlage Nottleben, Bezirk Erfurt. Ziel der Forschungsarbeit ist es, den potentiellen Nutzern eine prozeßspezifische Anwendersoftware zur Verfügung zu stellen und dabei in allen Programmteilen eine hohe Akzeptanz in der Praxis zu erreichen.

Für die Erarbeitung der Algorithmen wurden berücksichtigt:

- Forderung des Standards TGL 21 240/04 an die Lagerung von Pflanzkartoffeln in Behältern in den verschiedenen Lagerphasen [3], wobei die Einbeziehung der Feuchte erst für die Lagerperiode 1987/88 vorgesehen ist
- Besonderheiten der Klimaführung im Behälterstapel und im Einzelbehälter
- Einordnen der Lukenbetätigung

- wechselnde Außenklimabedingungen und damit verbundene Notwendigkeit einer Selbstoptimierung einzelner Programmteile
- bisher gewonnene Erfahrungen in den ALV-Anlagen
- Ablösen der tagfertigen Buchführung durch Rechnerausdruck.

Am Versuchsstandort Nottleben befindet sich ein 12-kt-Lagerhaus mit sechs Belüftungseinheiten (Bild 1). Die Wurflüftungsanlagen mit ihren Zu- und Abluftkanälen und die Strömungsrichtung der durch sie erzeugten Raumwalzen sind ebenso zu erkennen wie die Luftbewegung der freien Lüftung, die durch Wellenlinien angedeutet wird.

Arbeitsmittel zur Erprobung der Steueralgorithmen ist der im Bild 2 in der Prinzipschaltung dargestellte Prozeßsteuerrechner MBS01 in seiner Konfiguration mit Tastatur, Bildschirm und Drucker. Das System besteht im wesentlichen aus drei Komponenten. Die erste Komponente umfaßt den 8-bit-Mikrorechner K 1520 vom VEB Kombinat Robotron. Über einen Busumsetzer ist die zweite Komponente, bestehend aus den Steuereinheiten für Lüftermotoren, Klimact-Hebelantriebe und -Getriebemotoren zur Lukenbetätigung, der Frontplattenansteuerung und einer Relaisprüfkarte, angekoppelt. Ein weiterer Busumsetzer verbindet diesen Komplex über den Lagerbus mit dem Meßwertumsetzer und den Multiplexern, die zusammen die dritte Komponente bilden. Angewendet wird also das Datenbus-Multiplexer-Prinzip in Verbindung mit der Kelvin-Vierleiterschaltung. Die Verlegung der Zuleitungen und die Anordnung der Multiplexkästen enthält Bild 3. Die Verlegung der Leitung erfolgte unter Beachtung der gültigen Vorschriften über den Dachraum. Die Multiplexkästen sind in den Belüftungseinheiten in einer Höhe von 1,80 m über OKF angeordnet.

Über den Multiplexkästen werden je Belüftungseinheit von 7 Temperaturfühlern Pt100 die aktuellen Widerstandswerte durch aufgeprägten Meßstrom ermittelt, digitalisiert und auf Temperaturwerte umgerechnet. Im Bild 4 wird das zur Entscheidungsfindung notwendigen

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  $\Delta t_{ku}$  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                | $\text{m}^{-1}$                    | Dämpfung  |
| $e^{-PT}$        |                                    | Frequenzgang des Totzeitgliedes                                 |
| $F_0$            |                                    | Frequenzgang der Regelkreis-kette                               |
| $F_1$            |                                    | 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 Vorder- |
| $Z_{21}, Z_{22}$ |                                    | rad, 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: