

Probleme und Ergebnisse der Forschung an Arbeitselementen für Kartoffelerntemaschinen

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

Seit einigen Jahren werden an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg Arbeiten an Arbeitselementen und Wirkprinzipien für Kartoffelerntemaschinen durchgeführt. Während es sich anfangs um Untersuchungen an Verladeeinrichtungen mit automatischer Fallhöhenanpassung und automatischem Havarieschutz handelte [1, 2], folgten später Untersuchungen zu Wirkprinzipien und Arbeitselementen zur beimengungsarmen Kartoffelaufnahme [3, 4, 5].

1. Untersuchungen an Verladeeinrichtungen von Kartoffelerntemaschinen mit automatischer Fallhöhenanpassung und automatischem Havarieschutz

1.1. Aufgabenstellung

Bei der Übergabe der Kartoffeln von der Kartoffelerntemaschine auf das Transportfahrzeug werden gegenwärtig noch 15 bis 40% der Kartoffelbeschädigungen bei Kartoffelernte, Transport und Umschlag verursacht. Fallhöhen ≤ 500 mm sind zu garantieren, um nennenswerte Beschädigungszunahmen zu vermeiden. Da die vorhandenen Einrichtungen zum Verringern der Fallhöhe (z. B. Netzrutschen) infolge der Gefahr der Kollision mit dem Transportfahrzeug in der Praxis wenig genutzt werden, ergab sich die Notwendigkeit, besonders unter Beachtung ergonomischer Gesichtspunkte, Fallhöhen ≤ 500 mm durch Verladeeinrichtungen zu realisieren, die mit automatischer Fallhöhenanpassung und automatischem Havarieschutz ausgerüstet sind. Folgende Hauptforderungen waren zu erfüllen:

- Einhalten einer zulässigen Fallhöhe von $400 \text{ mm} \pm 100 \text{ mm}$ unabhängig vom Beladezustand
- selbständiges Einstellen der automatischen Fallhöhenanpassung auf den vorgegebenen Sollwert während des Beladens
- selbständiges Anheben der Verladeeinrichtung in die obere Stellung beim Abschluß des Beladens
- Vermeiden von Havarien der Verladeeinrichtung mit den Bordwänden und der Fahrerhausrückwand durch den automatischen Havarieschutz.

Einen besonderen Schwerpunkt bei den Untersuchungen bildeten Arbeiten zur Wurfgeometrie bei der Abwärtsförderung des Gemenges als Voraussetzung für die Ermittlung optimaler Konstruktions- und Betriebsparameter.

1.2. Stand der Forschung

Bei den analytischen Untersuchungen an Verladeeinrichtungen mit automatischer Fallhöhenanpassung und automatischem Havarieschutz wurden die vorhandenen technischen Lösungen hinsichtlich der angewendeten Konstruktions-schemata, der kinematischen Schemata, der Arbeitsprinzipie der automatischen Fallhöhenanpassung (Meßprinzip, Anordnung und Anzahl der Meßgeber, Führung der Meßgeber) und der Arbeitsprinzipie des automatischen Havarieschutzes näher betrachtet (Bild 1, Tafel 1).

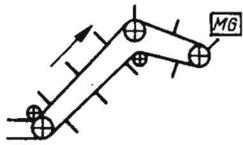
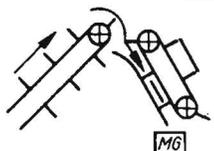
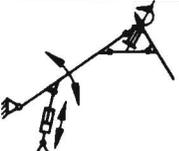
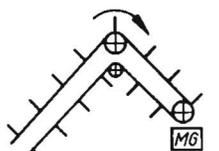
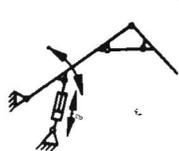
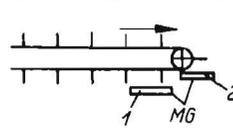
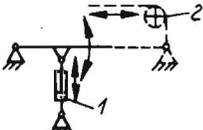
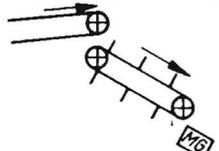
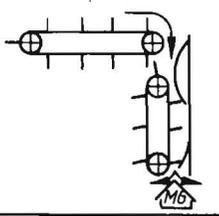
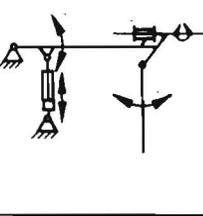
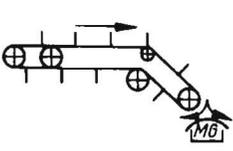
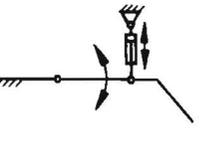
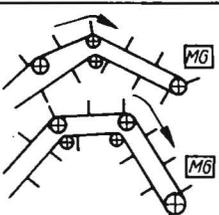
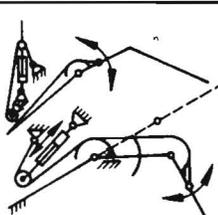
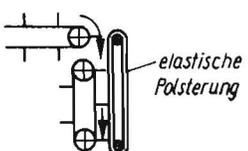
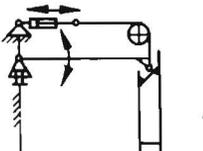
Variante	Konstruktions-schema	Kinematik der Verladeeinrichtung
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Bild 1
Verladeeinrichtungen
mit automatischer Fall-
höhenanpassung (s. a.
Tafel 1);
MG Meßgeber

Tafel 1. Verladeeinrichtungen mit automatischer Fallhöhenanpassung

Variante	Meßprinzip	Arbeitsprinzip der automatischen Fallhöhenanpassung		Arbeitsprinzip des automatischen Havarie-schutzes
		Anordnung und Anzahl der Meßgeber	Führung der Meßgeber	
1	berührungslos durch Laufzeitmessung von Ultraschallimpulsen (elektroakustisch)	— oberhalb mittig und vor dem Abgebende des Auslegers — 1 Meßgeber	— 7gliedriges Führungsgetriebe — Meßgeber wird auf Schüttkegelspitze ausgerichtet	— mechanische Tastbügel seitlich am Ausleger betätigen elektrische Tastschalter, die den Regelkreis auf Havariefunktion umschalten (mechanisch-elektrisch)
2	abtastend durch elastisch befestigte Gummiblase (pneumatisch-elektrisch)	— mittig und unterhalb des Abgebendes des Auslegers — 1 Meßgeber	— keine Führung — elastische Befestigung des Meßgebers — Meßgeber ist unmittelbar unter dem Abwurfende angeordnet	— seitliches Ausschwenken des Auslegers bei Havariegefahr (mechanisch)
3.1	s. Variante 2	s. Variante 2	s. Variante 2	keine Aussage
3.2	fotoelektrisch [1]	—	—	—
4	berührungslos durch Anwendung von Ultraschall	mittig und unterhalb des Abgebendes des Auslegers	keine Aussage	—
	abtastend durch mechanischen Tastarm mit angeschlossenem elektrischen Meßgeber	— seitlich unterhalb der Umlenkachse des Förderbands — 1 Meßgeber	feste Anordnung	—
5	abtastend durch mechanischen Taster und mechanische Regeleinrichtung	— seitlich unterhalb des Abgebendes des Auslegers — 1 Meßgeber	mechanisches Führungsgetriebe, das seitlich unterhalb des Auslegers angeordnet ist	—
6	berührungslos durch eine Lichtschranke oder mechanisch-elektrisch, abtastend durch Schlauch mit elektrischem Schaltkontakt	— unterhalb des Abwurfendes über die Gesamtbreite des Auslegers — 1 Meßgeber	— durch pendelnde Aufhängung des Meßgebers am Ausleger	— seitliches Ausschwenken des Auslegers bei Havarie (mechanisch)
	mechanisch-elektrisch abtastend durch gepolsterten mechanischen Taster, der mit elektrischem Schaltkontakt verbunden ist	— unterhalb und über die Gesamtbreite des Auslegers — 2 Meßgeber	— durch pendelnde Aufhängung des Meßgebers am Ausleger	—
8	berührungslos mit Hilfe des Ultraschall-Impulszeit-Verfahrens	— oberhalb und seitlich vor dem Abwurfende des Auslegers — 2 Meßgeber, Ultraschallsender und -empfänger als eine Baugruppe	durch ein Koppelgetriebe werden die Meßgeber auf die Spitze des Schüttguthaufens ausgerichtet	— mechanisch-elektrische Nahtasteinrichtung unterhalb des Abwurfendes des Auslegers — elektrischer Näherungsschalter (induktive Initiatoren) jeweils seitlich neben dem Abwurfende des Auslegers angeordnet
9	— Füllstandskontrolle berührungslos durch fotoelektrische Lichtschranke — Seitenwandkontrolle berührend durch elektrischen Tastschalter	— unterhalb und seitlich am Abgebende des Auslegers — 3 Meßgeber	keine Aussage	—

Im Ergebnis dieser Analyse und unter Beachtung der internationalen Entwicklungstendenzen bei Verladeeinrichtungen mit automatischer Fallhöhenanpassung und automatischem Havarieschutz für Kartoffelerntemaschinen ergab sich das optimale Arbeitsprinzip einer solchen Verladeeinrichtung (Bild 2). Das Arbeitsprinzip der automatischen Fallhöhenanpassung beruht auf einer berührungslosen (elektroakustischen) Meßeinrichtung zur kontinuierlichen Erfassung der Fallhöhe, einer elektrischen Meßwertverarbeitung als Regler und einem elektrohydraulischen Stellantrieb mit mechanischem Stellgetriebe als Regelstrecke. Das Arbeitsprinzip des automatischen Havarieschutzes hat gegenüber dem der automatischen Fallhöhenanpassung eine andere Meßeinrichtung in Form eines mechanisch pendelnd angeordneten elektrischen (induktiven) Tastschalters. Durch Berührung des Tastschalters mit der Gefahrenquelle wird die Eingangsgröße für den Regelkreis erzeugt. Eine solche Verladeeinrichtung trägt zur schonenden Gemengeförderung und somit zur Senkung der mechanischen Kartoffelbeschädigungen bei.

1.3. Aufgabenstellung für Untersuchungen
Das Erntegemenge unterliegt am Förderende bei veränderlicher Neigung des Auslegers des Verladeelevators stets anderen Abwurfbedingungen, die eine unterschiedliche Wurfgeometrie bewirken. Bei etwa gleichbleibender Fallhöhe, realisiert durch die automatische Fallhöhenanpassung, ergibt sich infolge der unterschiedlichen Wurfgeometrie und -geschwindigkeit der Gegenkomponenten eine Streuung der Wurfweite.

Aus diesem Sachverhalt wurde die Aufgabenstellung für die Untersuchungen abgeleitet:

- theoretische Analyse der Einflußfaktoren auf die Bewegung des Gemenges bei Abwärtsförderung (z. B. Abwurfbedingungen, Wurfverhältnisse, Wirkpaarung Mitnehmer-Gemengekomponente)
- experimentelle Untersuchung der Wurfbewegung bei Abwärtsförderung
- Ableitung von Konstruktions- und Betriebsparametern für Verladeeinrichtungen mit automatischer Fallhöhenanpassung.

1.4. Theoretische Untersuchungen

Bisher wurden in der Literatur nur Untersuchungen zum Überkopfabwurf eines Einzelkörpers aufgeführt, da die Meinung vertreten wird, daß für den Abwurfvorgang bei Abwärtsförderung kein Einfluß der Mitnehmer des Fördermittels auf den Abwurf des Gemenges vorliegt. Praktische Beobachtungen und Film-aufnahmen zeigten jedoch, daß diese Ansicht falsch ist. Könitzer [2] hat deshalb eine Analyse der wichtigsten Einflußfaktoren durchgeführt, die die Relativlage des Fördergutes zum Mitnehmer vor dem Abwurf bei Abwärtsförderung charakterisieren.

1.5. Experimentelle Untersuchungen

Im Ergebnis experimenteller Untersuchungen sollten vor allem der Abwurfzeitpunkt des Einzelkörpers und die Abwurfgrößen (Abwurf-winkel φ_A , Bahnradius r_A , Abwurfgeschwindigkeit v_A , Bahnneigungswinkel α_A) in Abhängigkeit von ausgewählten Einflußfaktoren (Auslegerneigung α 0...75°, Fördergeschwindigkeit v_f = 0,5...1,4 m/s) bestimmt werden. Folgende Aussagen lassen sich ableiten:

- Einzelkörperuntersuchungen [2]
 - Hinsichtlich der Teilstreuung in der Wurfbahnebene zeigen die Varianten

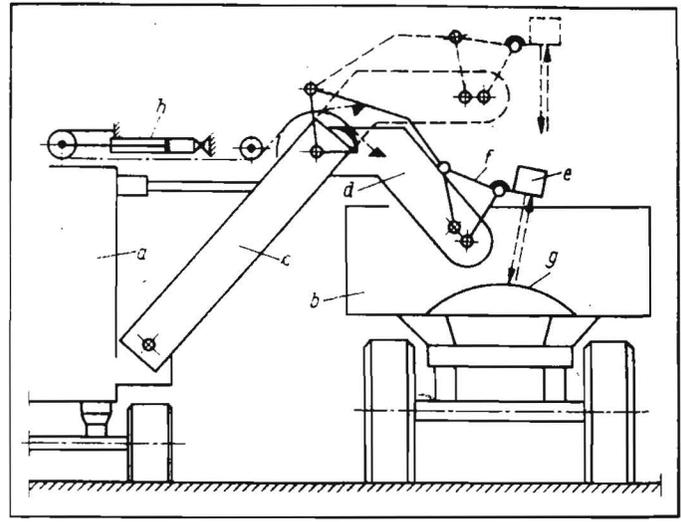
Siebstabmitnehmer und ebener PVC-Mitnehmer die günstigsten Ergebnisse, wogegen vor allem der Membranmitnehmer die größte Streuung verursacht.

- Beim Siebstabmitnehmer zeigen sich auch die besten Werte hinsichtlich der Abgabegeschwindigkeit.

— Haufwerkuntersuchungen [2]

- Es tritt keine Streuung des Haufwerks senkrecht zur Wurfbahnebene auf.
- Bei der Abwärtsförderung liegt das Haufwerk unmittelbar vor der Umlenkstelle noch an der Rückseite des Mitnehmers.
- Mit steigender Fördergeschwindigkeit v_F verlagert sich der Abwurfpunkt zu kleineren Werten des Abwurfwinkels φ_A ($v_F = 0,6 \text{ m/s} \rightarrow \varphi_A = 40 \dots 65^\circ$; $v_F = 1,4 \text{ m/s} \rightarrow \varphi_A = 30 \dots 40^\circ$).
- Eine Beeinflussung des Haufwerkabwurfs durch die nachfolgenden Mitnehmer tritt erst bei $v_F = 1 \text{ m/s}$ auf.

Bild 2 Funktionsprinzip der Verladeeinrichtung mit automatischer Fallhöhenanpassung:
a Erntemaschine
b Transportfahrzeug
c Steilförderer
d Ausleger
e Meßgeber der automatischen Fallhöhenanpassung
f Führungsgetriebe
g Erntegut
h Stellantrieb für Verladeeinrichtung



2. Untersuchungen von Arbeitselementen und Wirkprinzipen zur beimengungsarmen Kartoffelaufnahme

2.1. Aufgabenstellung

Das Grundprinzip der vollmechanisierten Kartoffelernte — alleiniges Aufnehmen der erntewürdigen Kartoffeln und deren Verladung auf Transportfahrzeuge — ist beim gegenwärtigen Stand der Entwicklung noch nicht in jedem Fall direkt, vollständig und ohne Handarbeit verwirklicht.

Die zu lösende fachwissenschaftliche Aufgabe lautet demzufolge: Aufnahme der Kartoffelknollen mit wenig Beimengungen und nicht wie bisher Aufnahme des Kartoffeldammes. Kleinere Veränderungen an den z. Z. verwendeten Dammaufnahmeelementen reichen keineswegs aus. Die Aufgabenstellung umfaßt folgende wesentliche Prämissen:

- Die Kartoffelknollenbildung erfolgt im Boden.
- Die Kartoffelknollen sind aus dem Wuchsraum zu entfernen und auf eine bestimmte Höhe zu fördern.
- Es müssen alle Kartoffelknollen unabhängig von Form, Reifezustand und Farbe aufgenommen werden, deren Quadratmaß größer als 30 mm ist.
- Im Kartoffel-Beimengungs-Gemenge sollten weniger als 15 Masse-% kartoffelgroße Beimengungen und weniger als 5 Masse-% Bestandteile kleiner als die erntewürdigen Kartoffelknollen enthalten sein.

2.2. Stand der Forschung

Die Verfahren der Kartoffelernte bestimmten Art und Ausführung der Kartoffelaufnahmeelemente, woraus sich die Notwendigkeit und

der Umfang beispielsweise bestimmter Automatisierungseinrichtungen ableiten [3, 4].

Die bekannten Bauformen von Kartoffelaufnahmeelementen und ihre Eignung für eine mehrreihige (vierreihige) Kartoffelaufnahmeeinrichtung wurden analysiert [3, 4]. Die Aufnahmewerkzeugvarianten Blattschare, Dreieckschare, Roderäder und Schwingschare sind mögliche und noch näher zu untersuchende Elemente beispielsweise für eine einkanalige vierreihige Kartoffelaufnahmeeinrichtung, um eine Optimierung als Minimalschare unter Verwendung von Automatisierungseinrichtungen zu erzielen.

2.3. Theoretische Betrachtungen

Grundsätzlich sind drei Lösungswege für die Erforschung neuer Kartoffelaufnahmeelemente möglich:

- empirische Entwicklung von Kartoffelaufnahmeelementen
- exakte Berechnung der Arbeitselemente aufgrund des Verhaltens des mehrphasigen Feststoffgemenges unter Einwirkung der Operationsenergie
- systematische Untersuchung von Werkzeugelementen zur Kartoffelaufnahme.

Der erste Weg hat keine wissenschaftliche Bedeutung. Die Bestimmung der Bruchspannung im Feststoffgemenge unter den Bedingungen des dreiaxialen Spannungszustands ist für den zweiten Weg zu klären.

In der Literatur wird darauf hingewiesen, daß die Theorie der finiten Elemente bei allerdings großem Rechenaufwand zur Lösung beitragen kann. Wichtig ist die Optimierung des Arbeitselements nach dem Grad der Kartoffelaufnahme:

$$\eta_1 = \frac{m_K}{m_H + m_A} \rightarrow \text{Maximum};$$

m_K Kartoffelmasse

m_H Masse der Beimengungen.

Die systematische Untersuchung von Werkzeugelementen ist der gegenwärtig gangbarste Weg. Diese Untersuchungen sollen den Einfluß von Stoff-, Konstruktions- und Betriebsparametern auf den Arbeitserfolg bestimmen.

Eine wissenschaftlich begründete Forschung an Kartoffelaufnahmeelementen ist also abhängig von der Ermittlung der Stoffparameter des mehrphasigen Feststoffgemenges, von der Entwicklung geeigneter Meßmethoden, vom Aufstellen entsprechender rheologischer Modelle und von der theoretischen Durchdringung der Energieeinleitung in das Feststoffgemenge.

Literatur

- [1] Jakob, P.; Könitzer, H., u. a.: Automatische Fallhöhenanpassung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg. Forschungsberichte 1975 bis 1978 (unveröffentlicht).
- [2] Könitzer, H.: Untersuchungen zur Wurfgeometrie an Verladeeinrichtungen mit automatischer Fallhöhenanpassung an Kartoffelerntemaschinen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg. Bericht 1979 (unveröffentlicht).
- [3] Jakob, P.: Beitrag zur beimengungsarmen Kartoffelaufnahme. TU Dresden. Dissertation B 1978 (unveröffentlicht).
- [4] Jakob, P., u. a.: Untersuchung kombinierter Werkzeuge und Wirkprinzipie für die Kartoffelaufnahme an Kartoffelerntemaschinen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg. Bericht 1979 (unveröffentlicht).
- [5] Jakob, P.: Gedanken zur Methodik der Forschung an Kartoffelaufnahmeelementen. agrartechnik 28 (1978) H. 7, S. 299—300. A 2480

KATALOG

über die lieferbare und in Kürze erscheinende Literatur des VEB VERLAG TECHNIK kostenlos erhältlich durch jede Fachbuchhandlung oder direkt durch den Verlag, Abteilung Absatz—Werbung