

Untersuchungen zur automatischen Lenkung einer Kartoffelerntemaschine

Prof. Dr. sc. techn. P. Jacob, KDT, Humboldt-Universität Berlin, Sektion Nahrungsgüterwirtschaft und Lebensmitteltechnologie

Verwendete Formelzeichen

a	m	Regelabweichung
c	m	Abstand des Meßpunktes von der Triebachse
d	m	Abstand der Werkzeuge von der Lenkachse
e	m	Abweichung des Werkzeugs von der Leitlinie
F _o		Frequenzgang der Regelkreiskette
h	m	Abstand der Werkzeuge von der Triebachse
K _o	$\frac{1}{s^2}$	Übertragungsfaktor des offenen Regelkreises der automatischen Lenkung
K _R	°/m	Übertragungsfaktor der Regelungseinrichtung
K _S	$\frac{m}{s^2}$	Übertragungsfaktor der Regelstrecke der automatischen Lenkung
k	m	Abstand des Meßpunktes vom Drehpunkt des induktiven Gebers (horizontal)
I ₂		Integrales Verhalten 2. Ordnung der Regelstrecke
m	m	Abstand des Meßpunktes von den Werkzeugen
n	m	Abstand des Drehpunktes des induktiven Gebers vom Meßpunkt (vertikal)
p		Operator
r _L	m	Radius der Leitlinie
r _M	m	Radius des Meßbezugspunktes
r _o	m	Radius des Mittelpunktes der Triebachse
s _L	m	Spurweite der Lenkachse
s _T	m	Spurweite der Triebachse
T	s	Integrationszeit
T _e	s	Ersatzzeitkonstante
T _v	s	Vorhaltzeitkonstante
u	m	Achsabstand
v _f	$\frac{m}{s}$	Fahrgeschwindigkeit
v _s	°/s	Stellgeschwindigkeit der Lenkung
γ	°	Phasenrand
φ	°	Radstellungswinkel
φ _z	°	Radstellungswinkel, auf dem optimiert wurde
ω _e	s ⁻¹	Knickfrequenz der Ersatzzeitkonstanten
ω _s	s ⁻¹	Schnittpunktfrequenz
ω _v	s ⁻¹	Knickfrequenz der Vorhaltzeitkonstanten

1. Theoretische Betrachtungen

Bei der Aufnahme der Kartoffeln aus dem Wuchsraum ist es notwendig, daß das Aufnahmeelement eine definierte Lage zum Kartoffelnest hat. Das erfordert eine ständige hohe Konzentration des Fahrers beim Lenken der Maschine. Um den Fahrer zu entlasten, ist eine selbsttätige Lenkung erforderlich. Die selbsttätige Lenkung (automatische Reihenführung) führt die selbstfahrende Kartoffelerntemaschine ohne Eingriff des Mechanisators am Wuchsraum (Kartoffeldamm mit Kartoffelnestern) entlang [1, 2]. Die Stellgröße ist der Lenkwinkel der lenkbaren Räder. Die Meßgröße und somit Regelgröße ist der Abstand eines vorgegebenen Punktes der Kartoffelerntemaschine von der Leitlinie Kartoffeldämme (Bild 1). Als Führungsgröße werden zwei Kartoffeldämme genutzt. Störungen können durch die Abweichungen der zwei Kartoffeldämme von der

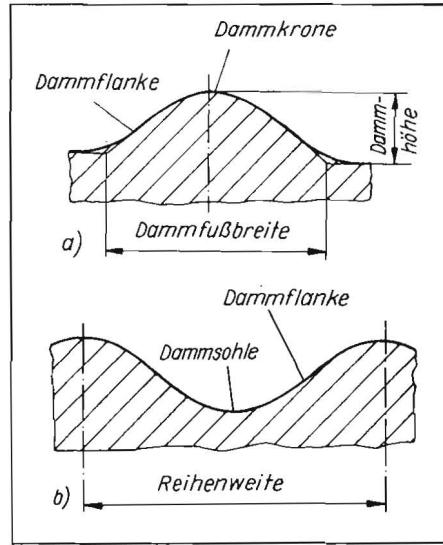


Bild 1. Definition der Teile des Kartoffeldammes [2];
a) Dammkörper (Konvexkörper)
b) Dammkörper (Konkavkörper)

Geraden, durch Schlupf der Antriebs- und Lenkräder und durch das Wirken äußerer Kräfte (z. B. beim Hangeinsatz) auftreten. Bei der automatischen Lenkung ist die Gewinnung der Meßgröße eine wichtige Aufgabe. Die beiden Dammflanken zwischen zwei Kartoffeldämmen bilden die Leitlinie. Durch den Meßfühler (Taster) und den induktiven Geber wird die Abweichung der Kartoffelerntemaschine von den Dammflanken in ein elektrisches Signal gewandelt. Durch den Rückführungsgeber wird dieses Signal mit der tatsächlichen Stellung der Lenkräder verglichen. Entsprechend der auftretenden Abweichung wird ein Hydraulikzylinder durch einen Schwellwertschalter positiv oder negativ beaufschlagt und eine Korrektur der Lenkräder vorgenommen. Durch die Rückführung entsteht ein Regler, der dem P-Regler ähnlich ist (Bild 2).

2. Stabilitätsbetrachtung

Mit der Amplitudenkennliniendarstellung können quantitative Aussagen über die Stabilität und den Übertragungsfaktor K_R der Regelung gewonnen werden. Die logarithmierte Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises lautet (Tafel 1):

$$\lg F_o = \lg K_S K_R + \lg \frac{1}{p^2} + \lg (1 + pT_v) + \lg \frac{1}{1 + pT_e}$$

Zuerst werden die beiden Knickfrequenzen wie folgt ermittelt:

$$\omega_v = \frac{1}{T_v} = \frac{v_f}{c}$$

$$\omega_e = \frac{1}{T_e} = \frac{v_s}{\varphi_z}$$

Aus der Differenz der einzelnen Phasenverläufe ergibt sich der für die Stabilität ent-

scheidende Phasenrand γ, der ein Maximum aufweist.

Die Amplitudenkennlinie (Bild 3) beginnt mit dem doppelten Einheitsabfall, verläuft durch die Wirkung des Vorhaltgliedes mit dem Einheitsabfall zwischen ω_v und ω_e und knickt nach ω_e infolge des Zeitverhaltens der Regelung wieder auf den doppelten Einheitsabfall ab.

Der Ordinatenabstand vom Schnittpunkt der verlängerten Anfangsgeraden mit ω = 1 zu ω_s ergibt den Wert lg |K_o|.

Durch die Ermittlung von K_R wird die Frequenzkennlinie optimal festgelegt:

$$K_R = \frac{K_o}{K_S} = \frac{K_o u}{v_f^2}$$

In den technischen Regelungssystemen wird mit Phasenrändern von γ = 30° ... 60° gearbeitet. Es ergibt sich für einen Phasenrand von γ ≈ 30° ein Überschwingen von etwa 40% [1]. Hierbei ist das Zeitkonstantenverhältnis

$$\frac{T_v}{T_e} = \frac{\omega_e}{\omega_v} = \frac{v_s c}{\varphi_z v_{f \max}} = 3.$$

Für die Ausregelung der Störgröße wird der periodische Grenzfall angestrebt. Der Phasenrand liegt bei γ = 55°.

Bei kleineren Phasenrändern treten vorübergehende Regelabweichungen durch Überschwingungen auf. Aus der o. g. Gleichung ergeben sich:

- Für c = 0 wird T_v = 0. Daraus folgt, daß ohne Vorlauf des Meßpunktes M vor der starren Achse keine stabile Regelung möglich ist.
- Mit steigender Geschwindigkeit v_f nimmt die Stabilität ab. Da v_f auch den Übertragungsfaktor K_S beeinflusst, tritt die Geschwindigkeit im praktischen Betrieb als Hauptparameter auf. Aus diesem Grund sind die Stabilitätsuntersuchungen besonders für v_{f max} notwendig.
- Bei Vergrößerung der Stellgeschwindigkeit v_s steigt die Stabilität des Systems.
- Die Ersatzzeitkonstante T_e = φ_z/v_s nimmt bei Einschwingvorgängen proportional mit dem Radstellungswinkel φ ab. Der Sollwert wird dadurch schneller erreicht. Totzeiten T_t, wie z. B. Anzugsverzögerungen und Abfallverzögerungszeiten der Magnetventile, beeinflussen den Phasenrand. Ihre zulässige Größe beträgt 5 T_t < T_e. Exakte Werte können den logarithmischen Amplitudenkennlinien entnommen werden (Bild 3).

3. Stationäres Verhalten des Regelkreises

Entscheidend für die Dimensionierung der Regelung ist die exakte Führung der Werkzeuge entlang der Leitlinie (Bild 4). Durch die Betrachtung des Werkzeugpunktes A im Abstand m vom Meßpunkt M ergeben sich stabilitätsbedingte K_R-Werte. Obwohl der Meßpunkt M dadurch größere Abweichungen von der Leitlinie hat, bleiben die Werkzeuge im geforderten Toleranzbereich.

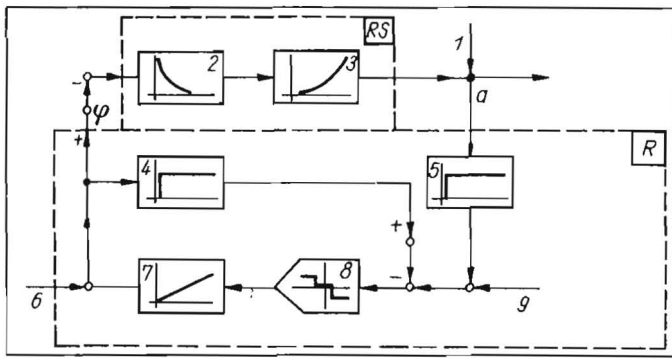
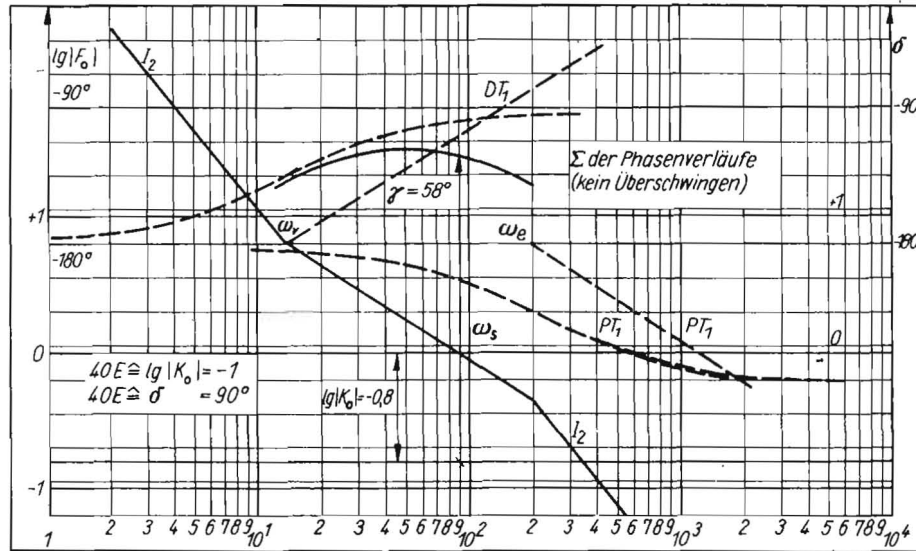


Bild 2. Blockschaltbild des Regelkreises (RS Regelstrecke, R Regeleinrichtung);
 1 Störgröße z_2 ; Abstand a der Leitlinie, 2 Vorhaltglied, 3 I_2 -Glied,
 4 Rückführmeßfühler (Rückführungsgeber), 5 induktiver Geber, 6 Störgröße z_1 ; Einfluß der Unebenheit des Bodens auf die Lenkräder, 7 I -Glied: Stelleinrichtung, 8 Dreipunkt: elektronischer Verstärker, 9 Führungsgröße (Leitlinie) $w = 0$

Tafel 1. Verhalten und Phasenverläufe

Verhalten	P	I_2	DT_1	PT_1
Phasenverläufe	0	-	$+\arctan \frac{\omega}{\omega_v}$	$-\arctan \frac{\omega}{\omega_e}$

Bild 3. Amplitudenkernlinie ($v_f = 4$ km/h; E Einheit auf dem logarithmischen Papier Nr. 495 T



Der Werkzeugpunkt A hat bei einer ständigen Störgröße folgenden Abstand e zur Leitlinie:

$$e = \frac{1}{r_L} \left(h m - \frac{u}{K_R} \right)$$

für $r_L \geq 4 u$.

4. Optimierung des Regelkreises

Die Optimierung erfolgte bei einer gegebenen Arbeitsgeschwindigkeit hinsichtlich Stabilität des Regelkreises und Genauigkeit der Werkzeugführung.

Die notwendige Stabilität wird durch die Forderung der Genauigkeit der Werkzeugführung festgelegt. Bei einer Änderung des Vorlaufs der Leitlinie ergibt der aperiodische Grenzfall die kleinste und zeitlich kürzeste

vorübergehende Regelabweichung. Der für die Genauigkeit erforderliche K_R -Wert ergibt sich aus der Gleichung:

$$K_R = \frac{u}{m h}$$

Die Fahrgeschwindigkeit hat großen Einfluß auf die anderen Parameter des Regelkreises. Seine Optimierung nach den o. g. Gesichtspunkten bei hohen Fahrgeschwindigkeiten führt auf zwei Schwierigkeiten:

- Der Abstand kann mit Rücksicht auf die Baulänge der Maschine nicht beliebig groß gewählt werden.
- Die maximale Stellgeschwindigkeit $v_{S \max}$ ist begrenzt.

Fortsetzung auf Seite 368

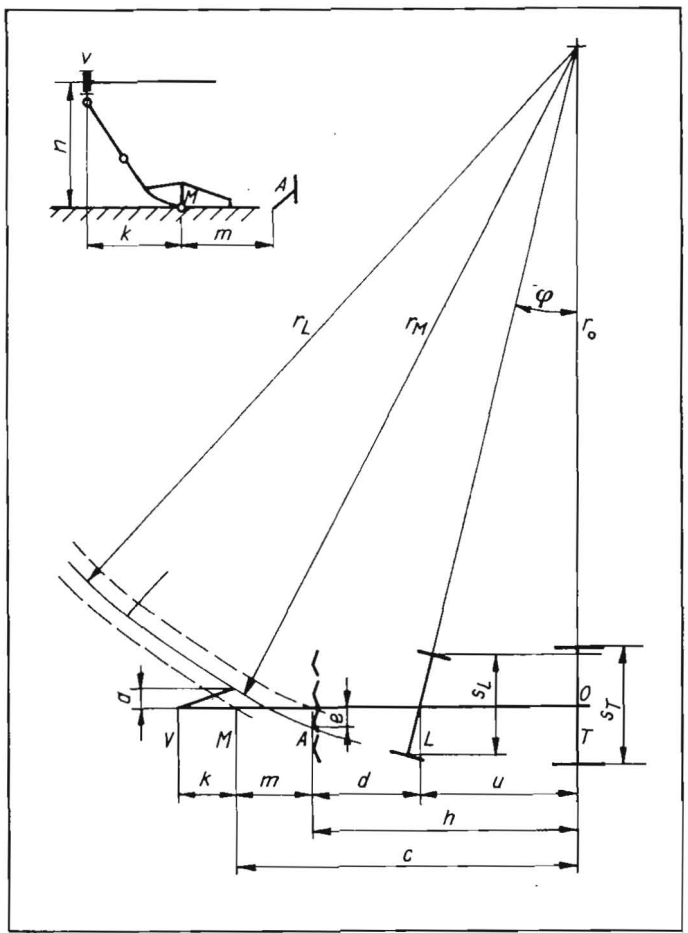
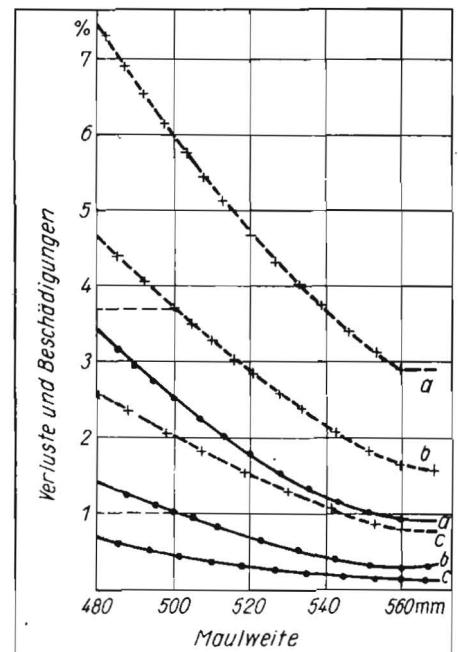


Bild 4. Bestimmung der Werkzeugabweichungen von der Leitlinie bei stationärer Kreisbahn; $u = 4300$ mm, $d = 2604$ mm, $k = 1000$ mm, $m = 1250 \dots 1780$ mm, $s_L = 1800$ mm, $s_T = 2174$ mm

Bild 5. Verluste und Beschädigungen als Funktion der Maulweite bei den verschiedenen Kartoffelsorten für die automatische Lenkung und die Handlenkung;

- a Grata, b Mariella, c Ora
- resultierende Scharabweichung für Handlenkung 68 mm
- resultierende Scharabweichung für automatische Lenkung 36 mm



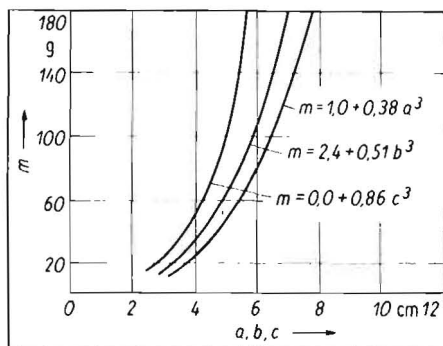
Sortiereignung von Kartoffelknollen

Dr.-Ing. J. Břečka, Hochschule für Landwirtschaft Prag

1. Einleitung

Da bisher nur komplizierte Trennmechanismen die Kartoffelsortierung nach der Masse ermöglichen, werden die Knollenabmessungen als sekundäres Trennkriterium verwendet. Im staatlichen Standard der ČSSR (ČSN) werden für Pflanz- und Speisekartoffeln einige charakteristische Abmessungen angeführt, z. B. die Knollenlänge früher Speisekartoffeln (minimal 40 mm) oder der Querdurchmesser später Speise- und Pflanzkartoffeln. Der Querdurchmesser wird nach Qualität (bei Speisekartoffeln Auslese und Qualität I bis III, bei Pflanzkartoffeln einfache und doppelte Sortierung) und Knollenform, die eine Sorteneigenschaft ist, festgelegt. Bei Speisekartoffeln wird nach der Knollenform zwischen ovalen und kugeligen Knollen unterschieden, wobei ovale solche sind, bei denen ein nicht näher bestimmter „überwiegender“ Anteil der Knollen eine um $\frac{1}{4}$ größere Länge als Breite hat. Bei Pflanzkartoffeln werden ovale bis lange, sonstige (kugelige, runde) und hörnchenförmige Knollen unterschieden, die nach dem Längsdurchmesser sortiert werden. Ovale bis lange Knollen sind im Standard nicht näher definiert. Der durch den Standard festgelegte Quer- oder Längsdurchmesser wird mit einem Quadratmaßkaliber gemessen. Die meisten Sortiereinrichtungen haben ebenfalls quadratische Sieböffnungen, so daß das gewählte Meßmittel vorteilhaft ist. Bei Verwendung von Sieben oder Mechanismen mit nichtquadratischen Öffnungen, z. B. kreisförmigen oder länglichen, erfaßt ein Quadratmaß nicht die Knollenabmessungen, nach denen diese Mechanismen sortieren.

Bild 1. Knollenmasse m in Abhängigkeit von Länge a , Breite b und Dicke c bei Knollen der Kartoffelsorte 'Krašava'



2. Methodik und Ergebnisse

Die Eigenschaften von Kartoffelknollen im Hinblick auf die Sortierung können durch Masse, Volumen und Abmessungen charakterisiert werden. Dabei ist die sich ändernde Knollenform unterschiedlicher Sorten zu beachten. Die Sortierung mit Sieben oder Profiwalzen erfolgt auf der Basis der Knollenabmessungen, einer nur sekundären Eigenschaft, vor allem nach der Knollenbreite und -dicke oder nur nach der Knollenbreite.

2.1. Masse, Volumen und Abmessungen der Knollen

Wird die Knollenform auf ein abgeflachtes Ellipsoid der Länge a , der Breite b und der Dicke c reduziert, ist ihr Volumen

$$V = \frac{\pi}{6} a b c. \quad (1)$$

Ist die Knollendichte ρ bekannt, kann die Knollenmasse m bestimmt werden zu

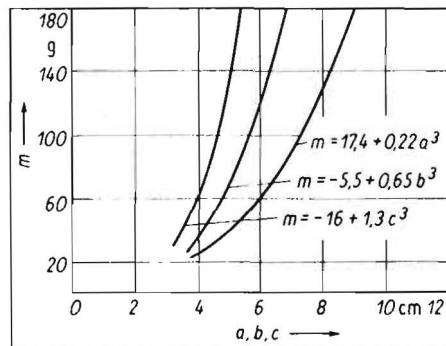
$$m = V\rho = \frac{\pi}{6} a b c \rho. \quad (2)$$

Aus Gl. (2) ist ersichtlich, daß sich die Masse m mit der 3. Potenz der Abmessungen ($a b c$) ändert. Angenähert kann die Knollenmasse nach Gl. (3) bestimmt werden:

$$m = \epsilon a b c; \quad (3)$$

ϵ Koeffizient, der außer der Knollendichte auch die Formdifferenzen zwischen dem angenommenen flachen Ellipsoid und der tatsächlichen Knolle beinhaltet und im Bereich von $(0,56 \dots 0,65) 10^3 \text{ kg/m}^3$ angegeben wird.

Bild 2. Knollenmasse m in Abhängigkeit von Länge a , Breite b und Dicke c bei Knollen der Kartoffelsorte 'Blanik'



Bei den 17 untersuchten Kartoffelsorten änderte sich ϵ in zwei aufeinanderfolgenden Jahren im Bereich von $(0,55 \dots 0,73) 10^3 \text{ kg/m}^3$. Diese Spanne wurde aus den Mittelwerten berechnet, so daß der Schwankungsbereich bei der Berechnung aus den Einzelwerten auch größer sein kann.

Um die kubische Abhängigkeit $m = f(a b c)$ durch Prüfung bestätigen zu können, ist die Einführung einer allgemeinen Form der kubischen Parabel vorteilhaft:

$$m = A + B(a, b, c)^3. \quad (4)$$

Die sich dem Wert 1 nähernden Korrelationskoeffizienten weisen auf einen sehr engen Zusammenhang der gemessenen Werte mit der allgemeinen Form der Parabel hin. Zur Veranschaulichung sind von den 17 untersuchten Kartoffelsorten die Zusammenhänge für eine runde Kartoffelsorte ('Krašava') und für eine ovale Kartoffelsorte ('Blanik') in den Bildern 1 und 2 dargestellt. Bei runden Knollen (Bild 1) liegen die Parabeln aller 3 Abmessungen (a, b, c) sehr dicht beieinander, und die Regression der Abmessungen b und c ist geringer als bei ovalen Knollen. Deshalb können runde Knollen exakter nach den Abmessungen b und c in bestimmte Abmessungs- und damit auch Maschengruppen sortiert werden.

Die drei Grundmaße können durch ein Maß, den äquivalenten Knolldurchmesser

$$d = \sqrt[3]{a b c} \quad (5)$$

ersetzt werden, aus dem ebenfalls die Knollenmasse bestimmt werden kann:

$$m = \epsilon d^3. \quad (6)$$

2.2. Häufigkeitsverteilung der Knollenabmessungen und -masse

Die Häufigkeitsverteilungen der Knollenabmessungen und -masse haben Bedeutung für die Berechnung des Ertrags und können zur Festlegung geeigneter Abmessungen von Öffnungen der Sortier- und Fördereinrichtungen der Maschinen herangezogen werden.

Die Häufigkeitsverteilungen der Länge, Breite und Dicke wurden bei 15 Kartoffelsorten untersucht. Aufgrund der eindeutigen Ergebnisse wurden nur 4 Sorten mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test bewertet, jede Sorte mit 7 Prüfungen während der Vegetationszeit (10. Juli bis 27. September). Bei allen Un-

Fortsetzung von Seite 367

Werden beide zulässigen Werte überschritten, so muß entweder eine Änderung der Grundkonzeption der Maschine, z. B. des Achsabstands, durchgeführt oder eine nicht optimale Einstellung des Regelkreises in Kauf genommen werden.

5. Kartoffelbeschädigungen und -verluste

Untersucht man die auftretenden Verluste und Beschädigungen als Funktion der Maulweite der Kartoffelaufnahmeelemente bei

verschiedenen Sorten (Bild 5) für die automatische Lenkung und die Handlenkung, so zeigt sich, daß die resultierende Scharabweichung bei automatischer Lenkung nur 36 mm beträgt, während sie bei Handlenkung 68 mm erreicht.

Daraus ergeben sich unterschiedliche Beschädigungen und damit Kartoffelverluste. Bei einem zulässigen Wert von 1% Massenanteil sind bei den Sorten „Ora“ und „Mariella“ mit automatischer Lenkung nur Maulweiten von etwa 480 mm bzw. 500 mm notwendig, während es mit Handlenkung bei

der Sorte „Ora“ 540 mm und bei „Mariella“ etwa 600 mm wären. Dadurch verringert sich die aufzunehmende Dammasse bei Anwendung der automatischen Lenkung.

Literatur

- [1] Jakob, P., u. a.: Automatische Lenkung. VEB Weimar-Kombinat, Bericht 1969.
- [2] Jakob, P.: Beitrag zur beimengungsarmen Kartoffelaufnahme. Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation B 1978.