

# Institut für Landtechnik Potsdam-Bornim

der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin · Direktor: Prof. Dr. S. Rosegger

## Aus der Arbeit des Instituts

### Untersuchungen über die Abscheidung kartoffelähnlicher Fremdkörper

Von Ing. K. BAGANZ

DK 631.362.41

Wird bei der Kartoffelernte die Arbeit des Auflesens durch ein an die Siebvorrichtung anschließendes Förderorgan mechanisiert, so hebt dieses außer den Kartoffeln auch alle Fremdkörper in Kartoffelgröße und darüber, so daß sie nachträglich aus den Kartoffeln entfernt werden müssen. *Bracke* [3] stellte fest, daß bereits bei 30% Fremdkörperbeimengungen die Handauslese hierzu einen höheren Arbeitsaufwand erfordert als bei normaler Vorratsrodung. Für eine vielseitig einsetzbare Kartoffel-, „Voll“-Erntemaschine sind deshalb mechanische Trennvorrichtungen erforderlich.

Von den in großer Anzahl bekannten Trennvorrichtungen für Kartoffeln und Fremdkörper – über die wissenschaftliche Untersuchungen bisher lediglich in geringer Zahl vorliegen [1], [6] – bewährte sich in der Praxis nur ein verschwindender Prozentsatz.

Vom Institut für Landtechnik wurden in mehrjähriger Arbeit die aus der Patentliteratur bekannten Trennverfahren theoretisch untersucht und in Labor- und Feldversuchen überprüft.

Als Teilgebiet dieser Arbeiten soll nachstehend versucht werden, in gedrängter Form eine Systematik der Trennverfahren für kartoffelähnliche Fremdkörper (Steine, Erdkluten, Mutterkartoffeln) zu geben.

Die bekannten Trennverfahren werden grundsätzlich unterschieden in jene, bei denen die Differenzen des spezifischen Gewichts der Trennkörper für den Trennvorgang ausgenutzt werden, und in solche, bei denen das spezifische Gewicht den Trennvorgang nicht beeinflusst.

#### 1. Vom spezifischen Gewicht beeinflusste Trennverfahren

Zur Betrachtung dieses Gebietes ist es notwendig, sich die Größen des spezifischen Gewichts der Trennkörper vor Augen zu führen. Die nachstehenden Angaben entstammen der Literatur [4], [7] und Messungen des IfL.

	Spezifisches Gewicht [g/cm <sup>3</sup> ]	im Mittel
Kartoffeln . . . . .	1,06 . . . 1,16	1,1
Steine . . . . .	2,50 . . . 2,84	2,7
Erdkluten . . . . .	~ 1,5	1,5
Mutterkartoffeln . . . . .	0,91 . . . 1,05	1,0

Aus den Trennverfahren dieser Gruppe verdienen vier charakteristische Systeme unsere Beachtung.

##### 1.1 Reine Abwägevverfahren

Bei diesen Verfahren werden die Trennkörper auf Hebeln, Klappen o. ä. einzeln abgewogen (z. B. DB-Patent 869882).

Für einen Trennvorgang muß also in einer Größengruppe beispielsweise der kleinste Stein schwerer sein als die größte Kartoffel. Für Massen-(Gewichts-)Gleichheit gilt also die Beziehung:

$$\frac{\gamma_k \cdot V_k}{g} = m_k = m_j = \frac{\gamma_j \cdot V_j}{g}$$

- $\gamma$  spezifisches Gewicht
- $V$  Volumen
- $g$  Erdbeschleunigung
- $d$  Durchmesser
- Index  $k$  für Kartoffeln
- Index  $j$  für Fremdkörper.

Unter Annahme von Kugelform der Trennkörper

$$\frac{\gamma_k \cdot d_k^3 \cdot \pi}{g \cdot 6} = \frac{\gamma_j \cdot d_j^3 \cdot \pi}{g \cdot 6}$$

$$\frac{d_k}{d_j} = \left(\frac{\gamma_j}{\gamma_k}\right)^{\frac{1}{3}} \tag{1a}$$

Wird  $\frac{d_k}{d_j} = Y_D$  und  $\frac{\gamma_j}{\gamma_k} = C_\gamma$  gesetzt, schreibt sich Gleichung (1a)

$$Y_D = (C_\gamma)^{\frac{1}{3}} \tag{1b}$$

Der Wert  $Y_D$  wird als theoretischer Vorsortierfaktor bezeichnet. Von dem praktisch erforderlichen Vorsortierfaktor  $Y_P$  unterscheidet er sich um einen Korrekturfaktor  $\eta$ , der die Einflüsse der vereinfachenden Annahme (Kugelform usw.) und der Sortierungenauigkeit erfäßt. Im allgemeinen gilt  $\eta < 1$ .

$$Y_P = \eta \cdot Y_D$$

Für einen bestimmten Durchmesserbereich von  $d_{\min}$  bis  $d_{\max}$  ergibt sich die Anzahl der für eine einwandfreie Trennung theoretisch erforderlichen Größengruppen (Fraktionen) zu

$$n = \frac{\lg \frac{d_{\max}}{d_{\min}}}{\lg Y_D}$$

Jede Fraktion erfordert eine eigene auf sie abgestimmte Trennvorrichtung.

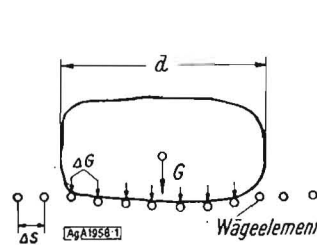


Bild 1. Abwägevverfahren nach linearer Pressung (schemat.)

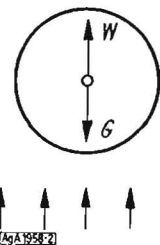


Bild 2. Trennung im senkrechten Luftstrom (schemat.)

Aus den vorliegenden Gleichungen bestimmt sich für dieses Trennverfahren und den Bereich  $d_{\min} = 2,5$  cm bis  $d_{\max} = 10$  cm

	theoretischer Vorsortierfaktor	erforderliche Größengruppen
für Steine . . . . .	$Y_D = 1,35$	$n = 4,6 \triangleq 5$
für Erdkluten . . . . .	$Y_D = 1,11$	$n = 13,1 \triangleq 14$
für Mutterkartoffeln . . . . .	$Y_D = 0,97$	$n = 45,6 \triangleq 46$

##### 1.2 Abwägevverfahren nach linearer Pressung

Bei anderen Verfahren wird der Trennkörper auf einer Anzahl von Wägeheln gelagert. Sein Gewicht  $G$  verteilt sich also seinem Durchmesser gemäß auf eine entsprechende Anzahl Wägeheln (Bild 1). Für sehr dichte Anordnung der Wägeheln ergibt sich eine lineare Pressung

$$p' = \frac{G}{d}$$

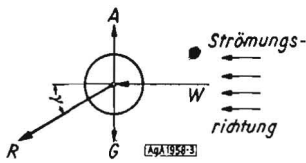
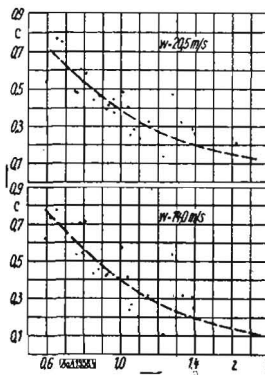


Bild 3. Trennung in einer strömenden Flüssigkeit (schemat.)

Bild 4. Luftwiderstandsbeiwerte von Kartoffeln ( $w$  = Luftgeschwindigkeit, mittl.  $\varnothing$  der Projektion)  
 $z = \frac{\text{Länge in Strömungsrichtung}}{\text{mittl. } \varnothing \text{ der Projektion}}$



Bei weiterer Auflösung entsprechend den Ausführungen unter 1.1 ergibt sich

$$Y_D = (C_y)^{\frac{1}{2}}$$

und daraus der theoretische Vorsortierfaktor und die erforderlichen Größengruppen im Bereich 2,5 ... 10 cm Dmr.

für Steine	$Y_D = 1,57$	$n = 3,1 \triangleq 4$
für Erdkluten	$Y_D = 1,17$	$n = 8,9 \triangleq 9$
für Mutterkartoffeln	$Y_D = 0,95$	$n = -30 \triangleq 30$

### 1.3 Vom Luftwiderstand beeinflusste Trennverfahren

Unterschieden werden diese Verfahren in solche mit senkrechter (z. B. US-Patent 2448446), mit waagerechter (z. B. DDR-Patent 3516) und mit schräger Windführung. In ihren Vorsortierfaktoren gleichen sich jedoch alle diese Verfahren, so daß als einfachstes das Abwägeverfahren im senkrechten Luftstrom besprochen wird.

Bei Gleichgewicht zwischen Luftwiderstand  $W$  und Gewicht  $G$  ergibt sich (Bild 2)

$$\frac{d^2 \cdot c \cdot q \cdot \pi}{4} = W = G = \frac{\gamma \cdot d^3 \cdot \pi}{6}$$

$$q = \frac{2}{3} d \frac{\gamma}{c}$$

$c$  Luftwiderstandsbeiwert  
 $q$  Staudruck

entsprechend den Flugkoeffizienten nach Brenner [2].

Daraus folgt bei entsprechender Entwicklung

$$Y_D = \left( C_y \cdot \frac{1}{C_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3a)$$

wenn  $C_c = \frac{c_l}{c_k}$ . Wird dieser Wert in erster Näherung  $C_c \sim 1$  gesetzt, ergibt sich

$$Y_D = (C_y)^{\frac{1}{2}} \quad (3b)$$

Hieraus folgt

für Steine	$Y_D = 2,45$	$n = 1,6 \triangleq 2$
für Erdkluten	$Y_D = 1,36$	$n = 4,5 \triangleq 5$
für Mutterkartoffeln	$Y_D = 0,91$	$n = -14,7 \triangleq 15$

### 1.4 Vom Auftrieb beeinflusste Trennverfahren

Verschiedene Trennsysteme nutzen Differenzen des spezifischen Gewichts direkt über den Auftrieb  $A$  aus (z. B. DDR-Patent 3915, DB-Patent 824718).

Für einen in eine strömende Flüssigkeit gebrachten Körper gilt als Abtriebswinkel (Bild 3)

$$\text{tg } \alpha = \frac{G - A}{W} = \frac{2}{3} \frac{(\gamma - \gamma_l) \cdot d}{c \cdot q} \quad \text{Index } l \text{ für Lösung (Flüssigkeit)}$$

Daraus folgt mit  $C_{Dy} = \frac{\gamma_l - \gamma_l}{\gamma_k - \gamma_l}$

$$Y_D = \left( C_{Dy} \cdot \frac{1}{C_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4a)$$

Wird als Trennflüssigkeit eine solche mit  $\gamma_l < \gamma_k$  benutzt (Wasser), so ergibt sich bei erster Näherung ( $C_c \sim 1$ ;  $\gamma_l = 1,0$ )

für Steine . . . . .  $Y_D = 17$   $n = 0,49 \triangleq 1,0$   
für Erdkluten . . . . .  $Y_D = 5$   $n = 0,86 \triangleq 1,0$   
für Mutterkartoffeln  $Y_D = 0$  d. h. die Mutterkartoffeln  
schweben in der Trennflüssigkeit.

Benutzt man eine Trennflüssigkeit  $\gamma_l > \gamma_k$ , so schwimmen die Kartoffeln an der Oberfläche, während alle Fremdkörper  $\gamma_l > \gamma_l$  absinken.

Für den Fall  $\gamma_l = \gamma_k$  würde

$$Y_D = \infty$$

Die Gleichung für  $Y_D$  ließe sich im übertragenen Sinne also auch in der bisher üblichen Form schreiben

$$Y_D = (C_y)^{\frac{1}{0.5}} \quad (4b)$$

Für Mutterkartoffeln tritt eine Trennung ein, wenn  $\gamma_m < \gamma_l < \gamma_k$ .

### 1.5 Folgerungen

Die Betrachtung zeigt, daß eine Ordnung der Trennverfahren, die vom spezifischen Gewicht beeinflusst werden, nach Wurzeln des Verhältnisses dieses Gewichts möglich ist. Zahlreiche hier wegen der umfangreicheren Ableitung nicht behandelte Verfahren wie schräggestellte Wägekappen und -drähte, Schleuderräder, Bürstenwalzen u. a. liegen mit ihren theoretischen Vorsortierfaktoren - von Zusatzgrößen beeinflusst - in der Hauptsache zwischen den unter 1.2 und 1.3 angeführten Verfahren.

Bei der Betrachtung der für eine einwandfreie Trennung erforderlichen Sortierstufen zeigt sich, daß unter praktischen Bedingungen von den bisher genannten Verfahren für Steine nur Systeme wie unter 1.3 und 1.4 und für Erdkluten- und Mutterkartoffelabscheidung Systeme wie unter 1.4 in Frage kommen.

Im Zuge der Labor- und Feldversuche wurden u. a. auch Messungen über den Luftwiderstand der Kartoffeln und Steine (Bild 4), über die Trennschärfe verschiedener Gebläseanordnungen und über erforderliche Konzentration der Trennbäder sowie über die Haltbarkeit und den Nachbau der in Bädern verschiedener Zusammensetzung behandelten Kartoffeln durchgeführt.

## 2. Vom spezifischen Gewicht nicht beeinflusste Trennverfahren

Aus diesem Gebiet werden drei Trennarten herausgegriffen, die sich zum Teil bereits in der Praxis eingeführt haben.

### 2.1 Trennverfahren nach Reibung und Form

Es wird unterschieden nach Bändern mit Neigung in Bewegungsrichtung (z. B. DRP 88190) und nach Bändern mit Neigung quer zur Bewegungsrichtung (z. B. Patent-Anmeldung P 1082-1948-). Die Trennbedingungen gleichen sich für beide Systeme annähernd.

Für einen Körper auf einem Band mit  $\alpha^\circ$  Neigung quer zur Bewegungsrichtung beträgt die Geschwindigkeit in Neigungsrichtung in  $t$  Sekunden (Bild 5)

$$v_s = g \cdot t (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot f)$$

$f$  = Rollwiderstandsbeiwert - analog den Werten aus der landwirtschaftlichen Fahrmechanik - auf Grund von Versuchen für Kartoffeln und Fremdkörper als unabhängig vom Durchmesser eingeführt.

Bei einer Bandgeschwindigkeit  $v_B = \frac{s}{t}$  ergibt sich der Ablenkungswinkel

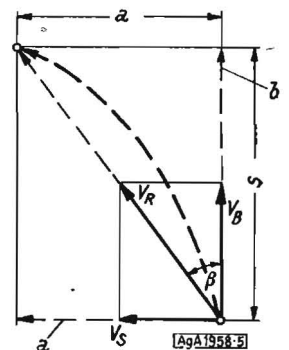


Bild 5. Trennung auf quer zur Laufrichtung geneigtem Band (schemat.)  
 $a$  Neigung des Bandes,  
 $b$  Laufrichtung des Bandes

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V_{R'}}{V_B} = \frac{a}{s}$$

daraus die Ablenkbreite  $a = g \cdot l^2 (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot f')$ .

Eine Trennung tritt also ein, wenn die Bedingung

$$f'_k \neq f'_j \quad (5)$$

erfüllt ist. Eine Größensortierung ist nicht erforderlich.

Unsere Untersuchungen über den Rollwiderstand von Kartoffeln und Steinen zeigten, daß sich zwar unterschiedliche Mittelwerte ergeben, die Streuwerte sich jedoch überlagern.

Es ist demnach für Steine, Erdkluten und stark beschädigte Mutterkartoffeln nur eine teilweise mechanische Trennung zu erwarten.

### 2.2 Trennverfahren nach Elastizität

Verfahren dieser Art benutzen die unterschiedliche Reaktion der Trennkörper beim Anprall gegen eine Fläche (z. B. DB-Patent 872685).

Die Abprallgeschwindigkeit beträgt beim unelastischen Stoß gegen eine Wand

$$c_1 = -K \cdot v_1.$$

$K$  Stoßfaktor

$v_1$  Anprallgeschwindigkeit.

Es erklärt sich daraus, daß - andere Einflüsse ausgeschaltet - dieses Trennverfahren lediglich von den Unterschieden der Stoßfaktoren abhängig ist, eine Größensortierung also entfällt.

Als Trennbedingung gilt

$$K_k \neq K_j. \quad (6)$$

Da Werte für die Stoßfaktoren der Trennkörper in der Literatur fehlen, wurden Untersuchungen mit einem Prallhammer durchgeführt. Von den untersuchten Prallmaterialien ergab sich bei Stahl die günstigste Trennung der Häufigkeitsspitzen. Hier- nach war eine teilweise Abscheidung der Steine zu erwarten.

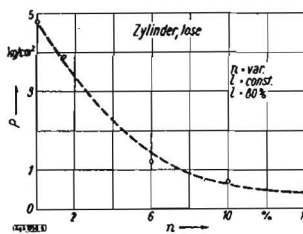


Bild 6. Druckfestigkeit von Bodenproben bei verschiedener Feuchtigkeit ( $n\%$ ); lehmiger Sand

### 2.3 Trennverfahren nach Festigkeit

Durch Ausübung von Druck sollen bei diesem Verfahren die Fremdkörper zerkrümelt und damit in absiebfähige Form gebracht werden, ohne daß die Kartoffeln Beschädigungen erleiden (Ausführungsformen KOK-2, KKR-2).

In diesem Rahmen mögen die Spannungsverhältnisse in den Trennkörpern unberücksichtigt bleiben. Auf jeden Fall gilt für eine Trennung die folgende Bedingung als Beziehung der zulässigen Pressungen

$$p_{k \text{ zul.}} > p_{\text{vorh.}} > p_{j \text{ zul.}} \quad (7)$$

Es ist ohne weiteres klar, daß Steine nicht auf diese Weise abzuscheiden sind. Von Kartoffeln, Erdkluten und Mutterkartoffeln wurden im Rahmen dieser Untersuchungen Druckfestigkeiten unter verschiedenen Bedingungen bestimmt. In dem Druckbereich (bis etwa  $3,0 \text{ kg/cm}^2$ ), in dem noch tragbare Beschädigungswerte bei den Kartoffeln auftreten, konnten nicht alle Erdklutenproben zerstört werden. Diese Festigkeitsgrenze schwankt stark mit Bodenart, -zustand und -feuchtigkeit (Bild 6) und liegt bei  $0\%$  Feuchtigkeit bereits im Gebiet des anlehmigen Sandes. Mutterkartoffeln unterscheiden sich in ihren Festigkeitswerten stark nach Sorte und Vegetationsklima. Eine sichere Deformation ist bei der Druckgrenze von  $3,0 \text{ kg/cm}^2$  nicht gegeben.

### 2.4 Folgerung

Die Verfahren dieser Gruppe, die nicht vom spezifischen Gewicht beeinflusst werden, verdienen besondere Aufmerksamkeit,

da sich ihre Trennbedingungen ohne Notwendigkeit einer Größenvorsortierung ergeben. Ein Teil der nicht aufgeführten Trennverfahren dieser Gruppe arbeitet mit Einzelstückabastung (elektrische oder optische Verfahren).

Es wurden im praktischen Betrieb zu 250 Fremdkörper/100 Kartoffeln (hauptsächlich Erdkluten) festgestellt. Die Werte, für die Trennvorrichtungen ausgelegt werden sollten, sind mit 100 Fremdkörper/100 Kartoffeln nicht zu hoch angesetzt. Der sich daraus ergebende Durchschnitt von etwa 40 Stck/s und Reihe stellt die Trennvorrichtungen mit Einzelabastung vor schwierige Aufgaben.

Von den genannten Trennvorrichtungen haben sich in den Labor- und Feldversuchen besonders die unter 2.1 und 2.3 genannten bewährt, wenn auch beide keine  $100\%$  ige mechanische Abscheidung erbrachten. Bei unter 2.2 genannten Verfahren erhielten bei praktischen Versuchen  $50\%$  der Kartoffeln Druckstellen, außerdem war die Trennschärfe nicht befriedigend. Die Versuche mit Anlagen nach 2.1 brachten besonders bei Anordnung zusätzlicher Gebläse bessere Trennwirkung. Eine bessere Abdeckung der Außenteile der vorhandenen Druckwalzen nach 2.3 wäre zur Beschädigungsverminderung erforderlich (Bild 7).

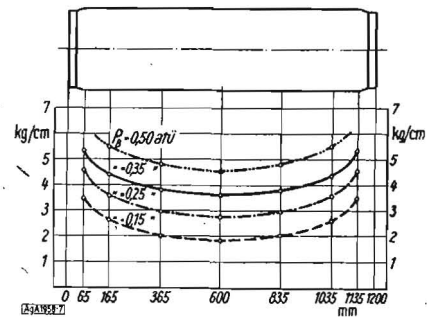


Bild 7. Druckverteilung in den Quetschwalzen der sowjetischen Kartoffelvollerntemaschine KOK-2 bei verschiedenem Ballonluftdruck ( $P_B$ )

### Abschließende Betrachtung

Dieser Überblick, in dem auf eine Diskussion zu den einzelnen Versuchsreihen verzichtet werden mußte, hat gezeigt, daß von den bekannten Trennverfahren nur ein sehr geringer Teil für die Praxis zu verwenden ist. Da das einzige vollmechanische Trennverfahren - Trennung beeinflusst vom Auftrieb - (1.4) nur in Ausnahmefällen für sehr hohen Fremdkörperanfall diskutabel sein dürfte - es sind dann gleichzeitig Lagervorrichtungen mit künstlicher Belüftung erforderlich - und das Verfahren unter 1.3 einen hohen Leistungsbedarf hat, ist die Praxis in der Hauptsache auf die Trennverfahren unter 2.1 und 2.3, also nach Reibung und nach Festigkeit, angewiesen.

Die Bemühungen um die Steigerung der Wirksamkeit dieser Trennverfahren in den Vollerntemaschinen können aber auch von seiten der Landwirtschaft durch verstärkten Anbau rundkolliger und hartschaliger Sorten unterstützt werden. Eine runde Kartoffel ergibt bei Abscheidesystemen nach Reibung gegenüber länglichen Knollen bessere Trennergebnisse und erleidet auch nicht so starke Beschädigungen [5].

Diesem Gesichtspunkt - dem Anbau einer „Vollerntekartoffel“ - sollte im Hinblick auf die zukünftige weitere Mechanisierung der Kartoffelernte sowohl von seiten der Pflanzenzucht als auch von den Anbauern größere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

### Literatur

- [1] Andersson, Y.: Försök att på Mechanisk väg skilja sten från Potatis, Jordbrukstekniska Institutet (1950) Circular 5.
- [2] Blenk, H.: Die Sortierung von Saatgut. Grundlagen der Landtechnik (1951) 2.
- [3] Bracke, O.: Möglichkeiten des Sammelrodens. RKTL-Heft 94a.
- [4] Kröner und Völksen: Die Kartoffel. A. Barth, Leipzig (1950).
- [5] Volbracht, O.: Über mechanische Beschädigungen an Kartoffeln. Dissertation Bonn (1952).
- [6] - Agricultural Engineering Record, London, Winter (1947-1948).
- [7] - Hütte, Taschenbuch des Ingenieurs, 27. Aufl. Ernst & Sohn, Berlin (1953).