

Zum Trennen von Kartoffeln, Steinen und Kluten im Flüssigkeits- oder Luftstrom

Dr.-Ing. H. Adermann, KDT/Dr.-Ing. K.-H. Fleischmann, KDT/Prof. Dr. sc. agr. G. Kühn, KDT
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

Verwendete Formelzeichen

A_K	Projektion der angeströmten Körperfläche
A_{KA}	Querschnitt des Trennkanales
C_w	Widerstandsbeiwert
d_h	hydraulischer Durchmesser
d_K	Durchmesser einer volumengleichen Kugel
F_A	Auftriebskraft
F_G	Gewichtskraft
F_w	Widerstandskraft
f_b	Beimengungsanteil
g	Fallbeschleunigung
H_r	relative Häufigkeitsverteilung
h_{KA}	Kanalhöhe
\dot{m}	Massestrom (Durchsatz)
\bar{m}_K	mittlere Masse des Körpers
n	Anzahl der Körper
\dot{n}	Anzahl der Körper je Zeiteinheit
P	Leistung
Δp_{ges}	Gesamtdruckverlust
Re	Reynoldszahl $Re = \frac{v_M d_K}{\nu}$
U_{KA}	Umfang des Trennkanales
\dot{V}	Volumenstrom
V_K	Volumen des Körpers
v_K	Körpergeschwindigkeit
v_M	Geschwindigkeit des strömenden Mediums
v_r	Relativgeschwindigkeit zwischen Körper und strömendem Medium
v_s	Sinkgeschwindigkeit (Schwebegeschwindigkeit)
Z_f	Formzahl nach Zödlar
β_0, β_1	Regressionskoeffizienten
ζ	Widerstandszahl des Krümmers
η	Trenngüte
λ	Kanalreibungszahl
ν	kinematische Zähigkeit
ρ_K	Dichte des Körpers
ρ_M	Dichte des strömenden Mediums
ρ_L	Dichte der Luft

Indizes

Ka	Kartoffel
Kl	Kluten
St	Steine

Problemstellung

Das Trennen von Kartoffeln, Steinen und Kluten in strömender Flüssigkeit oder Luft zeichnet sich durch eine im Vergleich zum mechanischen Trennen hohe Trenngüte für Kartoffeln und Steine und durch geringe mechanische Beanspruchungen des Verfahrensgutes aus. Der gegenwärtige Entwicklungsstand entsprechender Trenneinrichtungen gründet sich vor allem auf Ergebnisse experimenteller Untersuchungen. Eine theoretische Durchdringung des Trennprozesses und das Ableiten von Konstruktions- und Betriebsparametern für Trenneinrichtungen bereitet infolge ungenügend quantifizierter Einflußgrößen bestimmte Schwierigkeiten. Im Ergebnis von Untersuchungen zu Stoffkennwerten des Verfahrensgutes [1, 2, 3] zeigen sich Ansätze, die theoretischen Zusammenhänge und die Einsatzgrenzen beim Trennen von Kartoffeln, Steinen und Kluten im Flüssigkeits- oder Luftstrom deutlicher zu machen und bei der Entwicklung und beim Betrieb hydraulischer oder pneumatischer Trenneinrichtungen umfassender zu nutzen.

Entwicklungsstand

Aus der Analyse des Entwicklungsstandes geht hervor, daß sich zum Trennen von Kartoffeln, Steinen und Kluten der Hydrosortierer (Bild 1) und die Sauglufttrenneinrichtung (Bild 2) bewährt haben. Während der Hydrosortierer ausschließlich in der stationären Kartoffelaufbereitung genutzt wird, kommt die pneumatische Trenneinrichtung verein-

zelt auch auf Kartoffelerntemaschinen zur Anwendung. Ein wichtiges Entscheidungskriterium für den stationären oder mobilen Einsatz einer Trenneinrichtung ist deren spezifische Masse (Tafel 1), die deutlich macht, daß das Prinzip des Trennens in strömender Flüssigkeit für Erntemaschinen nicht geeignet ist. Der Hydrosortierer und die Sauglufttrenneinrichtung gehören entsprechend der in der Verfahrenstechnik üblichen Systematik [4] zu den Aufstromtrenneinrichtungen. Beim Aufstromtrennen werden die unterschiedlichen Geschwindigkeiten und die daraus resultierenden Bewegungsbahnen ausgenutzt, die Körper unterschiedlicher Dichte in einem strömenden Medium unter Wirkung bestimmter Einflußgrößen annehmen [5].

Einflußgrößen auf das Bewegungsverhalten von Körpern

Bei der Festlegung der zum Austragen der Kartoffeln erforderlichen Geschwindigkeit des Strömungsmediums im Hydrosortierer oder in der Sauglufttrenneinrichtung wird von einer stationären Bewegung des Körpers im vertikalen Strömungsfeld ausgegangen. Die Strömungsgeschwindigkeit muß größer als die Sinkgeschwindigkeit der Kartoffeln und kleiner als die Sinkgeschwindigkeit der Steine und Kluten sein. Die Sinkgeschwindigkeit eines Körpers ist der obere Grenzwert der Geschwindigkeit, den der Körper bei ausreichendem Fallweg, d. h. bei Erreichen des stationären Zustands in ruhender Flüssigkeit oder Luft annimmt. Dem Betrag der Sinkgeschwindigkeit gleich ist die Schwebegeschwindigkeit, die eine vertikale Strömung annehmen muß, damit ein in ihr befindlicher Körper seine Höhenlage beibehält, d. h. in der Schwebelage bleibt.

Bild 1. Hydrosortierer [1];
1 Schwemmrinne, 2 Trennschicht, 3 Trennkante, 4 Gurtbandförderer für Beimengungsaustrag

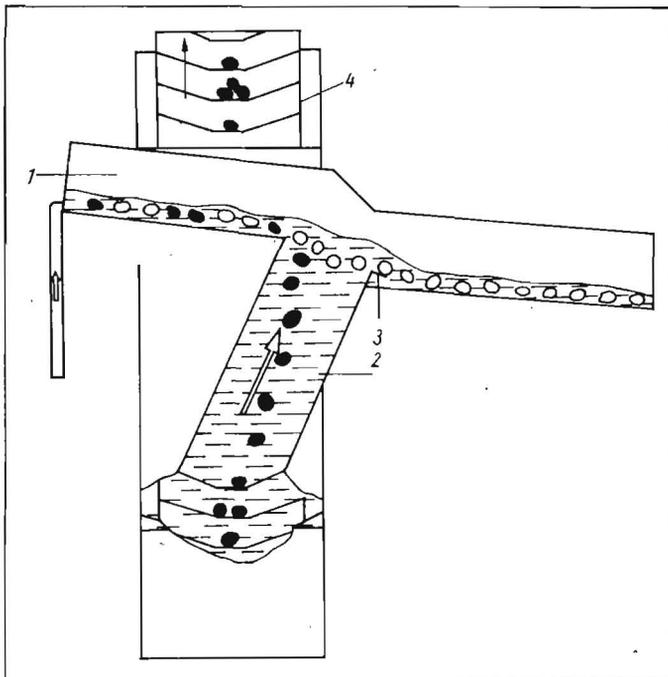
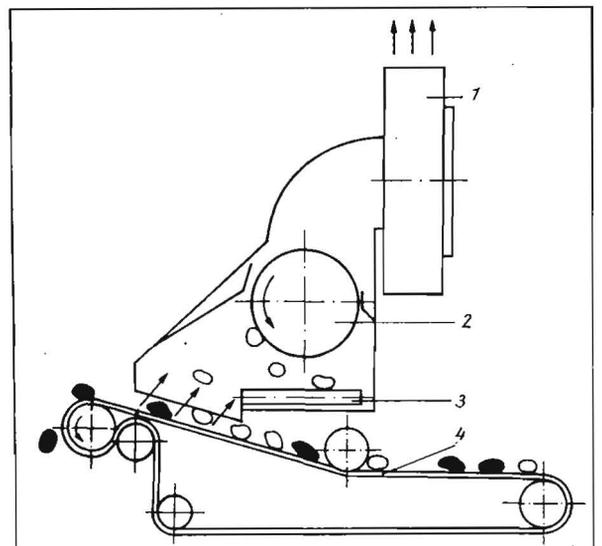


Bild 2. Sauglufttrenneinrichtung;
1 Radialgebläse, 2 Gittertrommel, 3 Gurtbandförderer, 4 Siebkette



Tafel 1. Kennwerte des Hydrosortierers HDS 600 und von Sauglufttrenneinrichtungen

Trenneinrichtung	spezifische Masse kg/h/t	spezifischer Energiebedarf kWh/t	Trenngüte ¹⁾		
			Kartoffeln %	Steine %	Kluten %
Hydrosortierer	188	0,15	≧ 99	≧ 97	≧ 95
Sauglufttrenneinrichtung	30...50	1,1...1,8	≧ 97	≧ 90	≧ 50 ²⁾

1) bezogen auf $m = 25 \text{ t/h}$ und $f_b = 40\%$ (Masseanteil)
2) bei $\rho_{kl} > 1,8 \text{ g/cm}^3$

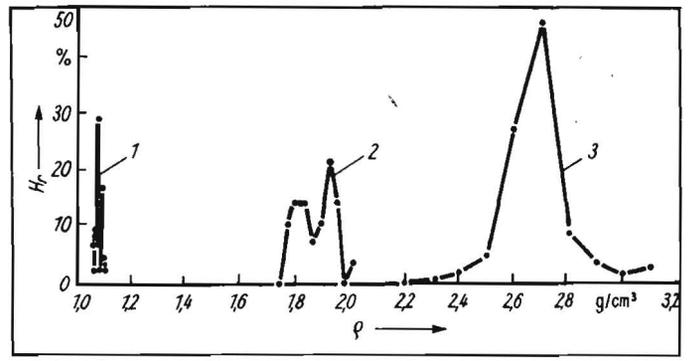
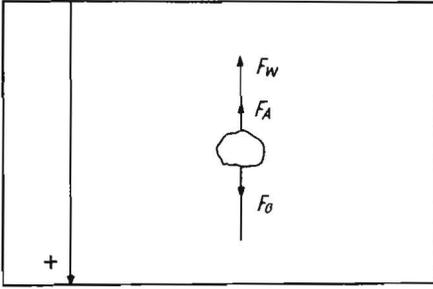


Bild 4. Häufigkeitsverteilung der Dichte von Kartoffeln, Steinen und Kluten [2];
1 Kartoffeln, 2 Steine, 3 Kluten

Bild 3. Kräfteansatz für den stationären Bewegungszustand eines Körpers in einer vertikalen Strömung



Für stationäre Bedingungen gilt der Kräfteansatz (Bild 3):

$$F_G = V_k \rho_k g \quad (1)$$

$$F_A = V_k \rho_M g \quad (2)$$

$$F_W = c_w A_k \frac{\rho_M}{2} (v_k - v_M)^2 \quad (3)$$

Die Sinkgeschwindigkeit ergibt sich bei $v_M = 0$ zu

$$v_s = \sqrt{\frac{2g V_k (\rho_k - \rho_M)}{A_k c_w \rho_M}} \quad (4)$$

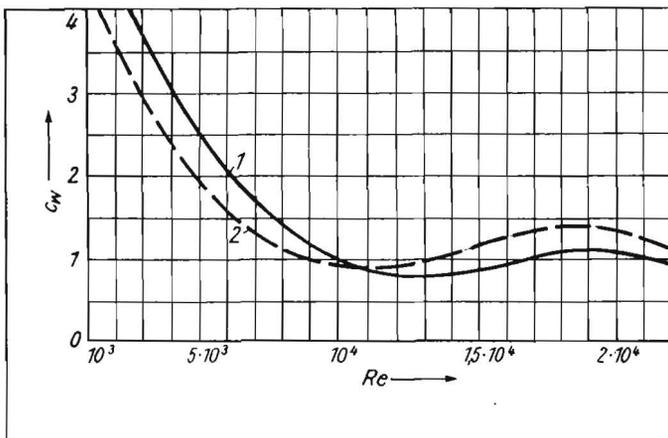
Beim pneumatischen Trennen kann die Auftriebskraft vernachlässigt werden, da $\rho_L \ll \rho_k$ ist.

Die Sinkgeschwindigkeit ergibt sich dann zu

$$v_s = \sqrt{\frac{2g V_k \rho_k}{A_k c_w \rho_L}} \quad (5)$$

Experimentelle Untersuchungen [2] zur Dichte von Kartoffeln und Steinen von D-

Bild 5. Widerstandsbeiwert von Kartoffeln und Steinen in Abhängigkeit von der Reynoldszahl im Flüssigkeitsstrom [1];
1 Kartoffeln, 2 Steine



Standorten sowie von Kluten von einem V3c-Standort (Bild 4) bestätigen die besondere Eignung der Stoffkenngröße Dichte als Trennmerkmal für das Trennen im strömenden Medium. Da eine scharfe Trennung der Komponenten, vor allem beim pneumatischen Trennen, dennoch nicht immer erreicht wird (vgl. Trenngüten in Tafel 1), sind weitere Einflußgrößen auf die Sinkgeschwindigkeit zu berücksichtigen.

Im vertikalen Strömungsfeld haben Kartoffeln, Steine und Kluten das Bestreben, sich mit ihrer größten Projektionsfläche senkrecht zur Strömungsrichtung einzustellen und damit den größten Strömungswiderstand bzw. die geringste Sinkgeschwindigkeit zu erreichen [6]. Filmaufnahmen [3] zum Verhalten von Körpern in einer vertikalen Luftströmung lassen jedoch erkennen, daß Körper mit nahezu runder Form, und zwar vor allem Kartoffeln und Kluten, ihre Ausrichtung in der Strömung ständig ändern und dadurch keine stabile Lage und keinen stationären Bewegungszustand erreichen. Eine geschlossene Beschreibung dieser zu Fehlrennungen führenden Erscheinung bereitet Schwierigkeiten.

Der Widerstandsbeiwert ist vor allem von der Form der Körper und der Reynoldszahl abhängig [6, 7]. Das Trennen von Kartoffeln, Steinen und Kluten im Hydrosortierer erfordert aufgrund der hohen Dichte des Wassers gegenüber dem Trennen in der Sauglufttrenneinrichtung wesentlich geringere Strömungsgeschwindigkeiten. Daraus resultiert, daß beim hydraulischen und pneumatischen Trennen nicht im gleichen Bereich der Reynoldszahl gearbeitet werden kann. Für das hydraulische Trennen gilt der Bereich

$$2,0 \cdot 10^3 \leq Re \leq 2,4 \cdot 10^4$$

Dazugehörige Widerstandsbeiwerte wurden von Scheibe [1] für Kartoffeln und Steine be-

stimmt (Bild 5). Nassour [2] ermittelte Widerstandsbeiwerte für Kartoffeln, Steine und Kluten im Bereich $5 \cdot 10^4 \leq Re \leq 2,2 \cdot 10^5$ (Bild 6), der für das pneumatische Trennen von Bedeutung ist.

Der Widerstandsbeiwert für Kartoffeln ist in den für das Trennen im Wasser oder in der Luft interessierenden Reynoldszahlbereichen stets kleiner als der Widerstandsbeiwert von Steinen und Kluten. Das führt zu einer negativen Beeinflussung des Trennvorgangs, da der Widerstandsbeiwert entsprechend den Gln. (4) und (5) nur dann zur Erhöhung der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Kartoffeln und Steinen sowie zwischen Kartoffeln und Kluten beiträgt, wenn

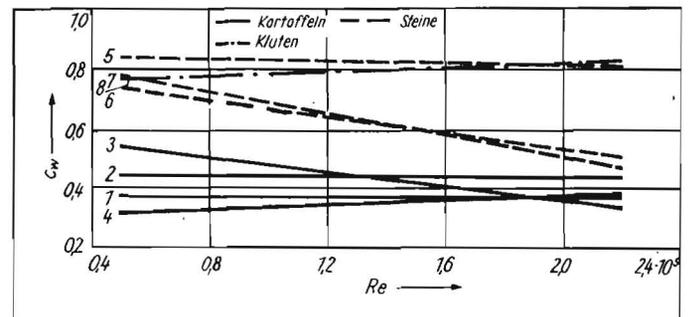
$$c_{wKa} > c_{wSt} \text{ bzw. } c_{wKl} \text{ ist.}$$

Zwischen den Kartoffelsorten bestehen Unterschiede im Widerstandsbeiwert, die aus der Form (Tafel 2), der Oberflächenrauigkeit und der Anzahl sowie der Tiefe der Augen der Kartoffeln herrühren. Kartoffeln der Sorten 'Arkula' und 'Koretta' sind aufgrund des größeren Widerstandsbeiwertes für das Trennen im strömenden Medium besser ge-

Bild 6. Widerstandsbeiwert von Kartoffeln, Steinen und Kluten in Abhängigkeit von der Reynoldszahl im Luftstrom [2];
Kartoffelsorten: 1 'Adretta', 2 'Arkula', 3 'Koretta', 4 'Karat'

Steine: 5, 6 rund bis rundoval mit relativ zerklüfteter Oberfläche; 7 rund bis rundoval mit relativ glatter Oberfläche
Kluten: 8 rund bis langoval, gebrochene Kanten
 $c_w = \beta_0 + \beta_1 \cdot Re^{-0,5}$

	β_0	β_1
1	0,396	- 0,0160
2	0,440	- 0,0007
3	0,604	- 0,1250
4	0,340	- 0,0190
5	0,860	- 0,0410
6	0,780	- 0,0770
7	0,830	- 0,1050
8	0,751	0,0303



Tafel 2. Formzahl und Widerstandsbeiwert von Kartoffeln [2]

Kartoffelsorte	Formzahl ¹⁾ \bar{z}_i	Widerstandsbeiwert \bar{c}_w
Arkula	0,18	0,44
Karat	0,14	0,36
Koretta	0,10	0,45
Adretta	0,14	0,38

1) Formzahl nach Zödler: $z_i = \frac{(a-r) + (b-r) + (c-r)}{3r}$

a Körperlänge, b Körperbreite, c Körperdicke, $r = \sqrt[3]{abc}$

eignet als Kartoffeln der Sorten 'Karat' und 'Adretta'.

Unter Zugrundelegung des Widerstandsbeiwertes (Tafel 3), der Dichte und der angeströmten Fläche der Körper [2] ergibt sich eine Abhängigkeit der Sinkgeschwindigkeit vom Körperdurchmesser (von der Körpergröße) für das hydraulische Trennen entsprechend Bild 7 und für das pneumatische Trennen entsprechend Bild 8. Der Körperdurchmesser wurde als Durchmesser einer volumengleichen Kugel bestimmt.

Beim hydraulischen Trennen ergeben sich für die berechneten Werte keine Überschneidungen der Sinkgeschwindigkeit von Kartoffeln und Steinen (Bild 7). Damit erklärt sich die hohe Trenngüte des Hydrosortierers für Kartoffeln und Steine (vgl. Tafel 1). Das Fehlen von Widerstandsbeiwerten für Kluten im Bereich $2,0 \cdot 10^3 \leq R_o \leq 2,4 \cdot 10^4$ läßt eine entsprechende Aussage zu der mit dem Hydrosortierer erzielbaren relativ hohen Trenngüte für Kluten nicht zu.

Abweichend von veröffentlichten Untersuchungsergebnissen [8, 9], denen die Annahme gleicher Widerstandsbeiwerte für Kartoffeln, Steine und Kluten zugrunde lag, ist festzustellen, daß die Sinkgeschwindigkeit von Kluten ($\rho_{kl} \leq 1,8 \text{ g/cm}^3$) geringer ist als die von Kartoffeln. Mit zunehmender Klutenfeuchte steigen die Dichte und damit die Sinkgeschwindigkeit von Kluten an, so daß für $\rho_{kl} > 1,8 \text{ g/cm}^3$ die Sinkgeschwindigkeit der Kartoffeln erreicht oder geringfügig überschritten wird [3]. Damit ist das pneumatische Wirkprinzip unter Beachtung der Forderung $\eta_{ka} \geq 99\%$ (Masseanteil) und $\eta_{kl} \geq 90\%$ (Masseanteil) zum Trennen von

Kartoffeln und Kluten nicht geeignet. Die in Tafel 1 ausgewiesene Trenngüte für Kluten von $\eta_{kl} = 50\%$ (Masseanteil) ist mit der Sauglufttrennung nur zu erreichen, wenn eine hohe Klutenfeuchte und ein geringer Anteil Kartoffeln $> 50 \text{ mm}$ Quadratmaß im Verfahrensgut vorliegen.

Die Überdeckung der Sinkgeschwindigkeit von Kartoffeln und Steinen (Bild 8) führt dazu, daß vor allem Steine $\leq 40 \text{ mm}$ Quadratmaß fehlgetrennt werden. Mit der relativ kleinen Teilmasse dieser Steine ist die Trenngüte von bis zu 90% (Masseanteil) (vgl. Tafel 1) zu erklären. Annähernd gleichhohe Trenngüten für Kartoffeln und Steine wie beim Hydrosortierer sind für Sauglufttrennung nur bei einer Größenaufteilung des Verfahrensgutes und darauf abgestimmte unterschiedliche Luftgeschwindigkeiten zu erwarten.

Zur Überprüfung der aus den experimentell ermittelten Werten der Einflußgrößen entsprechend Gl. (5) berechneten Sinkgeschwindigkeit wurde der Betrag der Sinkgeschwindigkeit durch Messung der Schwebegeschwindigkeit von Einzelkörpern in einem vertikalen Windkanal bestimmt. Das Quadratmaß der Versuchskörper lag im Bereich von 30 bis 70 mm. Die Werte der tatsächlichen Sinkgeschwindigkeit (Tafel 4) lagen für alle drei Arten von Versuchskörpern niedriger als die berechneten Werte. Bezogen auf den tatsächlichen Wert der Sinkgeschwindigkeit waren die Abweichungen der berechneten Sinkgeschwindigkeit bei Kartoffeln und Kluten mit 5 bis 15% relativ gering. Für große runde und rundovale Steine betragen sie bis zu 40%.

Bild 7. Sinkgeschwindigkeit von Kartoffeln und Steinen in Wasser in Abhängigkeit vom Körperdurchmesser (berechnete Werte); 1 Kartoffeln, 2 Steine

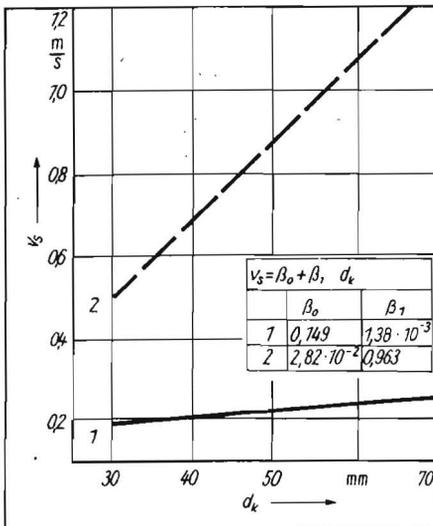
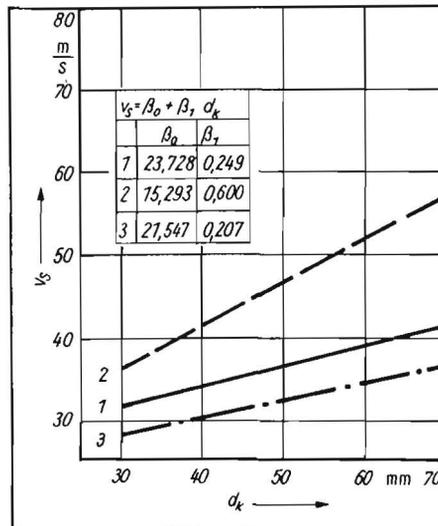


Bild 8. Sinkgeschwindigkeit von Kartoffeln, Steinen und Kluten in Luft in Abhängigkeit vom Körperdurchmesser (berechnete Werte); 1 Kartoffeln, 2 Steine, 3 Kluten



Tafel 3. Widerstandsbeiwert für Kartoffeln, Steine und Kluten [1, 2]

Art des Körpers	Widerstandsbeiwert gemessen in Wasser bei $Re = 2 \cdot 10^4$	gemessen in Luft bei $Re = 2 \cdot 10^5$
Kartoffeln der Sorte 'Adretta'	1,00	0,38
Steine von D-Standorten (rund bis rundoval)	1,25	0,53
Kluten	-	0,81

Eine hauptsächliche Ursache für die einseitige Verschiebung der berechneten Werte dürfte darin begründet sein, daß der für die Berechnung zugrunde gelegte Durchmesser einer volumengleichen Kugel die geometrischen Bedingungen des realen Körpers nur unvollkommen erfaßt. Für die Vorgabe der erforderlichen Luftgeschwindigkeit einer Sauglufttrenneinrichtung sollten vorzugsweise die Werte der experimentell ermittelten Sinkgeschwindigkeit der Versuchskörper herangezogen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei Anwesenheit von Körpern im Trennraum der Strömungsquerschnitt verringert wird und die Strömungsgeschwindigkeit sich entsprechend erhöht.

Leistungsbedarf

Der Leistungsbedarf stellt ein wichtiges Kriterium für die Bewertung von Einrichtungen zum Trennen von Kartoffeln, Steinen und Kluten dar.

Zur Charakterisierung von Einflußgrößen auf den Leistungsbedarf kann der Gesamtleistungsbedarf

$$P_{ges} = \Delta P_{ges} \dot{V} \tag{6}$$

in die Leistungsanteile

P_1 zur Überwindung der Reibung zwischen dem Medium und der Kanalwand und P_2 zur Überwindung des Strömungswiderstands der Körper und zum Transport der Kartoffeln aufgegliedert werden.

Für einen beliebigen Trennkanal ergibt sich die erforderliche Leistung zur Überwindung der Reibung zwischen dem Strömungsmedium und der Kanalwand zu [11]:

$$P_1 = \dot{V} \frac{\rho_M}{2} v_M^2 \left(\lambda \frac{h_{KA}}{d_h} + \xi \right); \tag{7}$$

mit

$$d_h = \frac{4 A_{KA}}{U_{KA}} \tag{8}$$

Da der Volumenstrom, der hydraulische Durchmesser, die Kanalreibungszahl und die Widerstandszahl Funktionen der Länge und Breite des Trennkanals sind, stehen einer Beeinflussung dieses Leistungsanteils die relativ engen Grenzen bei der Wahl der Abmessungen des Trennkanals entgegen.

Der Leistungsanteil P_2 ergibt sich bei Vernachlässigung der Berührung der Körper untereinander und mit der Kanalwand zu [11]:

$$P_2 = n c_w A_K \frac{\rho_M}{2} v_r^3 + \dot{n} \bar{m}_K g h_{KA} \tag{9}$$

Den Gln. (7) bzw. (9) ist zu entnehmen, daß die Geschwindigkeit des Strömungsmediums einen entscheidenden Einfluß auf den Leistungsbedarf hat. In Verbindung mit dem im Vergleich zum Hydrosortierer großen Querschnitt des Trennkanals der Sauglufttrenneinrichtung ($A_{KA} = 0,44 \text{ m}^2$ gegenüber $0,11 \text{ m}^2$) führt das zu einem hohen Energiebedarf der pneumatischen Trenneinrichtung (vgl. Tafel 1).

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

An die Beimengungstrennung bei der Kartoffelernte und -aufbereitung werden zunehmend höhere Anforderungen bezüglich der Trenngüte für die einzelnen Verfahrensgutkomponenten und die schonende Behandlung der Kartoffeln gestellt. Damit gewinnen Trennverfahren mit strömendem Wasser oder strömender Luft als Trennmittel an Interesse. In beiden Fällen ist die mechanische Beanspruchung der Kartoffeln gering zu halten und mit einer zumindest für Steine hohen Trenngüte im Vergleich zu mechanischen Trenneinrichtungen zu rechnen. Besonders günstige Werte werden bei der Trennung im Wasserstrom, im sog. Hydrosortierer, erreicht.

Im Ergebnis theoretischer Vergleiche und experimenteller Untersuchungen, u. a. zum Widerstandsbeiwert und zur Sinkgeschwindigkeit der Verfahrensgutkörper, werden diese Ergebnisse begründet und bestätigt. Dabei wird deutlich, daß aufgrund der geringen Auftriebskraft der Luft und des relativ geringen Widerstandsbeiwertes von Kartoffeln die Trenngüte und der Energiebedarf der pneumatischen Trennung ungünstiger zu bewerten sind als bei der hydraulischen Trennung.

Zur Verbesserung der Ergebnisse bei der pneumatischen Trennung von runden oder rundovalen Steinen wäre eine Größenaufteilung des Verfahrensgutes zu empfehlen. Für Kluten ist das pneumatische Trennprinzip nur sehr bedingt geeignet.

Tafel 4
Experimentell ermittelte Sinkgeschwindigkeit von Kartoffeln, Steinen und Kluten in Luft [3, 10]

Art des Körpers	Körperform	Sinkgeschwindigkeit m/s
Kartoffeln ¹⁾	rund bis rundoval	28...36
Steine	rund bis rundoval flach	35...42 30...35
Kluten ²⁾	rund bis langoval	28...34

1) Sorte 'Lipsi', 'Adretta', 'Arkula', 'Karat', 'Koretta'
2) $\rho_{kl} = 2,09 \text{ g/cm}^3$

Literatur

- [1] Scheibe, K.: Untersuchungen zum Sortieren von Kartoffel-Fremdbesatz-Gemengen im Flüssigkeitsstrom. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation A 1984.
- [2] Nassour, M.: Begründung von Arbeitsprinzipien für Nachtrenneinrichtungen für Kartoffelerntemaschinen auf der Grundlage von Stoffkenngrößen des Verfahrensgutes. Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg, Dissertation A 1988.
- [3] Heckert, M.; Zellmann, J.: Experimentelle Ermittlung der Schwebegeschwindigkeit von Komponenten eines Kartoffel-Fremdbesatz-Gemenges im vertikalen Luftstrom. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1988.
- [4] Vauk, W.; Müller, H.: Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik. Leipzig: VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie 1978.
- [5] Schubert, H.: Wirkprinzipien und Modellierung aufbereitungstechnischer Klassier- und Sortierprozesse. Aufbereitungstechnik, Wiesbaden 18 (1977) 2, S. 47-55.
- [6] Bohl, W.: Technische Strömungslehre. Leip-

zig: VEB Fachbuchverlag 1984.

- [7] Matthies, H.-J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. VDI-Forschungsheft, Düsseldorf (1956) Nr. 454.
- [8] Fer, J.: Pneumatické rozdužování brambor a kamenů (Pneumatische Kartoffel-Stein-Trennung). Zemědělská technika, Prag 24 (1978) 12, S. 723-733.
- [9] Adermann, H.; Kühn, G.: Zur pneumatischen Beimengungstrennung bei der Karroffelernte und -aufbereitung. Wissenschaftliche Beiträge der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Berlin 5 (1986) 3, S. 24-34.
- [10] Chmielecki, A.: Untersuchungen zur Schwebegeschwindigkeit und zum Widerstandsbeiwert von Kartoffeln, Steinen und Kluten im vertikalen Luftstrom. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1989.
- [11] Wandslebe, J.: Energieaufwand und seine Berechnung mittels zusammengefaßter Parameter bei der horizontalen pneumatischen Förderung. Bergakademie Freiberg, Dissertation A 1970.

A 5691

Bestimmung optimaler Betriebs- und Konstruktionsparameter schwingender Dammaufnahmeelemente für Kartoffelerntemaschinen

Dozent Dr. agr. Dr.-Ing. M. Delitz, KDT
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

Verwendete Formelzeichen

A	mm	Amplitude
A _F	mm ²	Förderquerschnitt
b	mm	Breite
b _{DAE}	mm	Scharbreite
b _N	mm	Nestbreite
c	N/mm	Federsteife
E	N/mm ²	Elastizitätsmodul
ΔE	J	in das Erntegut zu indizierende kinetische Energie je Abwurf
ΔE _{ges}	J	Summe aus ΔE _z und ΔE _x
ΔE _z	J	zu indizierende Energie parallel zum Dammaufnahmeelement
ΔE _x	J	zu indizierende Energie senkrecht zum Dammaufnahmeelement
e	mm	Exzentrizität des Schubkurbelgetriebes
F	N	Federkraft
f	Hz	Schwingfrequenz
f*	mm	Federweg
g	m/s ²	Fallbeschleunigung
h	mm	Höhe
h _B	mm	Scharbodenhöhe
h _{DAE}	mm	Scharhöhe
h _N	mm	Nesthöhe
h _{max}	mm	maximal mögliche Federblattstärke
L	mm	Länge
l _f	mm	federnde Länge
l	mm	Schubstangenlänge

l _{DAE}	mm	Länge des Dammaufnahmeelements
m _{DAE}	kg	Masse des Dammaufnahmeelements
m _{DAE+G}	kg	Masse des Dammaufnahmeelements plus Masse der angekoppelten Erntegutmenge
P _{ges}	kW	Gesamtleistungsbedarf
R _{DAE}	mm	Scharbodenradius
r	mm	Kurbelradius
s ₀	mm	Abweichung der Kartoffelnester von der Symmetrieachse
s ₁	mm	Toleranz des Reihenabstandes
s ₂	mm	Fahrabweichung
v _{DAE}	m/s	Schwinggeschwindigkeit
v _f	m/s	Fahrgeschwindigkeit
x _{th}	m/s	theoretische Fördergeschwindigkeit in Fahrtrichtung
α	°	Scharanstellwinkel
β ₁	°	Ablöseschwingwinkel zum Abwurfzeitpunkt
Γ		Wurfkennzahl
ξ	m/s	theoretische Fördergeschwindigkeit, parallel zum Dammaufnahmeelement
σ _{str} ^b	N/mm ²	ertragbare Biegespannung
φ	°	Kurbeldrehwinkel (Phasenlage)
φ ₁	°	Kurbeldrehwinkel zum Abwurfzeitpunkt
ω	s ⁻¹	Winkelgeschwindigkeit

1. Einleitung

Auf Untersuchungen zur Optimierung von Betriebs- und Konstruktionsparametern schwingender Dammaufnahmeelemente für Kartoffelerntemaschinen wurde in [1] eingegangen. In den vorliegenden Beitrag sollen die Erkenntnisse einfließen, die bei der Entwicklung und Erprobung der dort untersuchten einreihigen Laborversuchseinrichtung und der vierreihigen Feldversuchseinrichtung gewonnen wurden. Sie beziehen sich demzufolge auf eine Konstruktionsvariante, bei der die Dammaufnahmeelemente von unten her auf Lenker abgestützt werden. Es werden Hinweise, Algorithmen und Berechnungsgleichungen für die geometrische und kinematische Gestaltung schwingender Dammaufnahmeelemente hinsichtlich optimaler Funktion und minimalen Drehleistungsbedarfs gegeben.

2. Scharschnittlinie

Eine elliptische Scharschnittlinie schmiegt sich optimal der Nestgeometrie an. Damit wird der aufgenommene Dammquerschnitt minimiert. Die Scharschnittlinie wird durch ein Schar mit kreisbogenförmigem Bo-