

# Die pneumatisch-mechanische Trennung der Kartoffeln von den Erdkluten<sup>1)</sup>

Aus dem praktischen Einsatz der Kartoffelvollerntemaschinen ist uns bekannt, daß sich bei der Arbeit auf schweren Böden, wenn sie besonders trocken oder sehr naß sind, die Trennfähigkeit der Arbeitsteile stark verringert. Im ersten Fall liegt die Lösung der Trennfrage in der Trennung der Kartoffeln von den Kluten, im zweiten Fall in der Trennung der Knollen von dem klebrigen Erdreich<sup>2)</sup>.

Handelt es sich um ein Gemisch aus Kartoffeln und festen Kluten, dann sind die wichtigsten physikalischen Eigenschaften, die für die Trennung ausgenutzt werden können, die Größe, die Reibungskoeffizienten an den verschiedenen Oberflächen, die Elastizitätskoeffizienten, die Festigkeits- und aerodynamischen Eigenschaften sowie das absolute und spezifische Gewicht. Genaue Untersuchungen [6] haben gezeigt, daß das wirksamste Verfahren darin besteht, die Kartoffeln von den festen Kluten durch Unterscheidung nach dem spezifischen Gewicht zu trennen. Dieses Verfahren wird in der landwirtschaftlichen Produktion und bei der Aufbereitung der Mineralien [3] viel angewendet.

Das Verfahren der Trennung von Körpern durch Unterscheidung nach deren spezifischem Gewicht gehört zu den Gravitations-Trennverfahren. Untersuchungen über eines dieser Verfahren, das sog. Naßverfahren, das auch für die Trennung der Kartoffeln von festen Kluten und Steinen Anwendung findet, haben gezeigt, daß damit sehr gute Erfolge erzielt werden können [6].

Wir haben auch das pneumatisch-mechanische Gravitationsverfahren in bezug auf die Trennung der Kartoffeln von festen Kluten und Steinen untersucht.

Bei diesem Verfahren wird als Trennungsmittel die Luft verwendet. Wenn wir das spezifische Gewicht der Luft vernachlässigen, so kann die Endfallgeschwindigkeit im freien Fall von beliebig großen und beliebig schweren Körpern in der Luft durch die bekannte Abhängigkeitsformel dargestellt werden

$$v_0 = \sqrt{\frac{g d_e \pi \delta}{6 \psi \Delta}} \quad (1)$$

Es bedeutet

- $d_e$  Einheitsdurchmesser des sich in der Luft (Trennungsmittel) bewegenden Körpers,
- $\delta$  spezifisches Gewicht des Körpers,
- $\psi$  Widerstandskoeffizient des Körpers,
- $\Delta$  spezifisches Gewicht der Luft.

Aus dieser Abhängigkeitsformel geht hervor, daß die freie Fallgeschwindigkeit der Teilchen in der Luft von deren Größe und spezifischem Gewicht abhängt.

Bis die Endfallgeschwindigkeit in der Luft erreicht ist, wo der Unterschied in der Fallgeschwindigkeit der Körper mit verschiedenem spezifischen Gewicht besonders auffällig wird, haben die Körper infolge der äußerst geringen Luftdichte einen großen Weg zurückzulegen. Um eine Trennung der ihrem spezifischen Gewicht nach verschiedenen Körper in der Luft beim Fall aus geringer Höhe zu erzielen, muß sich der Luftstrom den fallenden Körpern entgegen bewegen, d. h. die Körper müssen im vertikalen Luftstrom fallen [4]. Beim pneumatisch-mechanischen Verfahren erfolgt die Trennung

<sup>1)</sup> Selchosmaschina, Moskau (1957) H. 3, S. 19 bis 21. Übers.: E. LANGE (Institut für Landmaschinen- und Traktorenbau, Leipzig).  
<sup>2)</sup> S. a. H. 3 (1957) S. 105 bis 110: K. BAGANZ und W. RÖSEL, Vergleichsprüfung von Kartoffelvollerntemaschinen 1956.

durch die kombinierte Einwirkung von Luftstrom und mechanischem Schütteln mit bestimmter Frequenz und Amplitude.

Der Luftstrahl erfüllt gleichzeitig zwei Aufgaben:

1. Durch Druck nach unten wird der Einfluß der Schwerkraft abgeschwächt (es ist, als ob die Körper leichter werden):
2. die Kohäsions- und Reibungskraft zwischen den Körpern wird geringer.

Die schüttbare Masse nimmt in diesem Fall in einem gewissen Grade die Beweglichkeit und die Eigenschaften einer Flüssigkeit an. Deshalb werden in ihr hydrostatische Gesetze aufzutreten, und zwar in erster Linie das „zur Oberfläche drängen“ der leichteren Teile [5].

Die mechanische Wirkungsweise muß in noch größerem Maße die relative Verschiebung des Massematerials gewährleisten. Eine theoretische Untersuchung der beim gleichzeitigen Einwirken von Luftstrom und mechanischen Schwingungen auftretenden Erscheinungen ist sehr schwierig und man hat sich noch wenig damit befaßt [3], [5].

Die Wirkung des Luftstroms kann angenähert folgendermaßen betrachtet werden:

Der Gesamtdruck des Luftstroms der notwendig ist, um die zu trennende Masse in einen gewissen aufgelockerten Zustand zu versetzen, wird aus dem Verhältnis

$$P_{\Sigma} = P_d + P_{st} \quad (2)$$

ermittelt, wobei

$P_d$  dynamischer Druck und  
 $P_{st}$  statischer Druck bedeutet.

Der dynamische Druck des Luftstroms wird aus dem Verhältnis von

$$P_d = \frac{\Delta v_0^2}{2g} \quad (3)$$

ermittelt, wobei  $v_0$  Endfallgeschwindigkeit des Körpers in der Luft bedeutet.

Der zum Ausgleichen der auf dem Sieb liegenden Materialschicht notwendige statische Druck wird aus dem Verhältnis von

$$P_{st} = \mu \cdot \delta_m \cdot h \quad (4)$$

bestimmt. Hier bedeutet

- $\mu$  Lockerungskoeffizient der Materialschicht;
- $\delta_m$  spezifisches Gewicht der Materialschicht;
- $h$  Dicke der Materialschicht.

Der vom Ventilator zu erzeugende Druck muß mit Rücksicht auf die Verluste in den zuführenden Rohrleitungen und auf dem Sieb etwas größer sein als  $P_{\Sigma}$ .

Die mechanische Wirkungsweise muß folgenden Ansprüchen genügen: Die Kartoffeln und die festen Kluten sind in ihren Abmessungen sehr unterschiedlich, was gemäß der Abhängigkeitsformel [1] die Größe der Endfallgeschwindigkeit und infolgedessen die Wirksamkeit der Trennung beeinflusst. Daher muß die Trennung durch gehemmten Fall bei geringer Fallperiode der Körper erfolgen.

Die wechselseitige Verschiebung der Teilchen in schüttbaren Körpern bei sonstigen gleichen Bedingungen wird durch die Form der Teilchen und die Koeffizienten der Reibung aneinander, d. h. den sog. inneren Reibungskoeffizienten des schütt-

baren Körpers bestimmt:

$$f_t = \operatorname{tg} \varphi; \quad (5)$$

$\varphi$  Reibungswinkel.

Die Größe des inneren Reibungskoeffizienten hängt von der Art der Oberfläche der Körper, ihrer Feuchtigkeit, ihrer räumlichen Lage und anderen Faktoren ab.

Wie die durchgeführten Versuche zeigten, ist eine Masse, die aus Kartoffeln und festen Kluten besteht, ein durchaus schüttbarer Körper bei einer Feuchtigkeit der Kluten von  $W < 12$  bis 14%. Dabei ist  $f_t = 0,625$  bis  $0,725$ .

Die Bewegung durch mechanische Einwirkung muß ohne Hochwerfen der Masse erfolgen, da das den Trennvorgang stören würde [1]. Die mechanischen Schwingungen der Masse müssen in der vertikalen Ebene unter Berücksichtigung der Bedingung

$$\omega^2 r = g$$

erfolgen; hierbei bedeutet

$\omega$  Winkelbeschleunigung der Antriebskurbel,

$r$  Radius der Antriebskurbel.

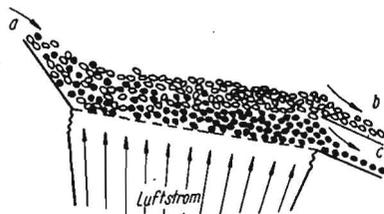
Zur Durchführung der Versuche wurde eine Spezialanlage entwickelt, bestehend aus einem Gehäuse mit durchsichtigen Wänden und Siebboden; da hinein werden die Kartoffeln, Steine und die festen Kluten zwecks Trennung gegeben.

Das Gebläsesystem besteht aus dem Hochdruckventilator mit Rohrleitung, die im oberen Teil in einen Diffusor übergeht; dieser ist an dem Gehäuse unten mit Hilfe einer elastischen, luftundurchlässigen Wand verbunden; Übertragungsteile dienen zur Übermittlung der Schwingbewegungen und Ventilator-drehungen auf das Gehäuse.

Zahl der Schwingungen des Gehäuses . . . 90 bis 1200/min  
Schwingungsamplitude des Gehäuses . . . 0 bis 50 mm  
Luftverbrauch . . . . . 2600 m<sup>3</sup>/h  
Vom Ventilator erzeugter Druck . . .  $P_{\max} = 500$  mm WS

Der Arbeitsvorgang bei ununterbrochenem Betrieb, z. B. in der Kartoffelvollerntemaschine, ist in Bild 1 dargestellt.

Die aus Kartoffeln und Kluten bestehende Masse kommt in das Gehäuse, das schwingende Bewegungen ausführt. Von unten wird durch den Siebboden der Luftstrahl zugeführt. Durch die Kombination des Luftstroms mit den mechanischen Schwingungen sind die Bedingungen für die Aufwärtsbewegung der Körper mit dem geringeren spezifischen Gewicht (Kartoffeln) und für die Abwärtsbewegung der Körper mit dem größeren spezifischen Gewicht (Kluten und Steine) geschaffen. Die auf diese Weise entstehenden zwei Schichten müssen zu den entsprechenden Abgangsbrettern und -rinnen geführt werden.



**Bild 1.** Trennvorgang in der Kartoffelvollerntemaschine  
a Zuführung der Kartoffeln mit Kluten und Steinen  
b Abgang der Kartoffeln  
c Abgang der Kluten und Steine

Die Versuche wurden mit einer aus Kartoffeln, Kluten und Steinen bestehenden Masse durchgeführt. Eine seitliche Verschiebung der Masse während der Schichtbildung war in der Anlage nicht vorgesehen.

Für jeden Versuch wurden 18 kg Masse genommen. Das gewichtsmäßige Verhältnis von Kluten zu Kartoffeln betrug 1:1, die Feuchtigkeit der Kluten  $W = 8,64\%$ . Jeder Versuch dauerte 30 Sekunden und wurde dreimal wiederholt.

Auf den Boden der Versuchsanlage wurden 9 kg Kartoffeln geschüttet, die die untere Schicht bildeten. Die obere Schicht bestand aus 9 kg Erdkluten. In der Praxis sind die Knollen in der Gesamtmasse verstreut.

i

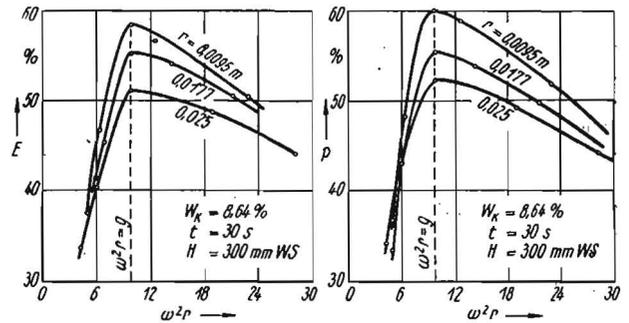
Die Ergebnisse der Laborversuche sind in Tabelle 1 zusammengefaßt und in Bild 2 und 3 dargestellt.

Bild 2 stellt die Abhängigkeit der in die obere Schicht eindringenden Kartoffeln von der der Versuchsanlage übertragenen Beschleunigung dar. Auf der Ordinate ist das Verhältnis

$\frac{G_{kn}}{G_{kn\Sigma}} = P$  abgetragen, d. h. das Verhältnis des Gewichts der in die obere Schicht vordringenden Kartoffeln  $G_{kn}$  zu dem Gewicht der insgesamt zu Beginn des Versuchs auf das Sieb gelegten Kartoffeln  $G_{kn\Sigma}$  in %.

Bild 3 stellt die Abhängigkeit der in der oberen Schicht befindlichen Kartoffeln von der der Versuchsanlage übertragenen Beschleunigung dar. Auf der Ordinate ist das Verhältnis

$\frac{G_{kn}}{G_{sch}} = \varepsilon$  abgetragen, d. h. das Verhältnis des Gewichts der in der oberen Schicht befindlichen Kartoffeln  $G_{kn}$  zum Gewicht der gesamten oberen Schicht  $G_{sch}$  in %.



**Bild 2.** Beschleunigungsabhängigkeit der die obere Schicht durchlaufenden Knollenmenge

**Bild 3.** Beschleunigungsabhängigkeit der in der oberen Schicht befindlichen Knollenmenge

Tabelle 1. Wirksamkeit der pneumatisch-mechanischen Schichtbildung

| n<br>U/min | r<br>[m] | $\omega^2 r$<br>[1/s] | $\varepsilon$<br>[%] | P<br>[%] |
|------------|----------|-----------------------|----------------------|----------|
| 307        | 0,0095   | g                     | 58,5                 | 60,2     |
| 220        | 0,0095   | 5,02                  | 37,4                 | 36,9     |
| 469        | 0,0095   | 22,90                 | 51,2                 | 52,0     |
| 352        | 0,0095   | 12,50                 | 58,2                 | 59,0     |
| 257        | 0,0095   | 6,30                  | 46,4                 | 48,2     |
| 188        | 0,025    | g                     | 51,0                 | 52,5     |
| 129        | 0,025    | 4,32                  | 33,6                 | 32,1     |
| 321        | 0,025    | 28,20                 | 46,0                 | 44,5     |
| 262        | 0,025    | 18,90                 | 48,6                 | 49,4     |
| 148        | 0,025    | 6,01                  | 40,1                 | 43,1     |
| 220        | 0,0177   | g                     | 55,2                 | 55,6     |
| 331        | 0,0177   | 21,25                 | 50,5                 | 49,8     |
| 163        | 0,0177   | 5,08                  | 45,1                 | 33,2     |
| 270        | 0,0177   | 14,20                 | 54,2                 | 54,0     |
| 176        | 0,0177   | 6,01                  | 41,1                 | 43,1     |

An Hand der Versuchsergebnisse können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

1. Die wirksamste Trennung erfolgte bei einer Beschleunigung von  $\omega^2 r = 9,81 = g$ . Eine geringere oder größere Beschleunigung vermindert die Wirksamkeit. Das wird dadurch verständlich, daß die hier gewählte mechanische Arbeitsweise ein inneres Gleiten des Materials ohne Hochwerfen gewährleistet. Die geringere Wirksamkeit der Schichtbildung bei einem größeren Wert  $\omega^2 r$  erklärt sich durch die stärkere Vermengung bei Werten von  $\omega^2 r < g$  — durch ungenügendes inneres Gleiten des Materials.

2. Die größte Wirksamkeit der Schichtbildung, die bis zu  $P = 60,2\%$  erreichte, wurde bei der Exzentrizität  $r = 0,0095$  m beobachtet. Das kommt daher, daß bei diesem Betriebswert ( $\omega^2 r = g$ ;  $r = 0,0095$  m) die Schichtbildung im gehemmten Fall gegeben ist, da hierbei der Einfluß des spezifischen Gewichtes stärker ist als der der Größe der Teile.

### Schlußfolgerungen

1. Die Laboratoriumsuntersuchungen des pneumatisch-mechanischen Verfahrens der Trennung der Kartoffeln von den Kluten haben bewiesen, daß dieses Verfahren anwendbar ist.

(Fortsetzung S. 451)

# Die vollmechanisierte Rübenernte

## Eine Betrachtung zur Erprobung der zugehörigen Maschinen

### 1 Die Maschinen

#### 1.1 Der Köpfröder E 710

In diesem Jahr wird in vielen Betrieben erstmalig die Rübenernte vollmechanisiert nach dem System BBG durchgeführt.

Zu diesem System gehören der Längsschwad-Köpfröder E 710 (Bild 1) sowie die Auflader für Rüben T 271 und für Rübenblatt T 273. Vom dreireihig arbeitenden Längsschwad-Köpfröder werden Rüben und Rübenblatt in getrennten Längsschwaden zu je sechs Reihen abgelegt. Diese Schwaden werden von den Auflagern aufgenommen und auf einen nebenfahrenden Wagen befördert.

Der Längsschwad-Köpfröder arbeitet nach dem Pommitzer Rübenernteprozess, indem zuerst die im Boden steckenden Rüben geköpft und anschließend gerodet werden.

In der Maschine sind, getrennt voneinander lenkbar, linksseitig ein dreireihig arbeitender Rübenköpfer und rechts ein ebenfalls dreireihig arbeitender Rübenroder angeordnet. Die Rübenköpfe werden mittels halbrunder Köpfmesser geschnitten (Bild 2). Die Schnitthöhe läßt sich durch zwei über dem Messer von Kettenrädern geführten Tastketten einstellen. Diese fördern nach vollendetem Schnitt den Rübenkopf über den am Messer anschließenden Förderrost zum am Ende des Köpfrahmens angeordneten Querförderer. Auf ihm werden die von allen drei Köpffaggregaten angelieferten Rübenköpfe gesammelt, nach der rechten Maschinenseite gefördert und von dort mittels einer verstellbaren Rutsche in einem Längsschwad aus je sechs Reihen Rüben bzw. Blattköpfen auf dem abgeräumten Rübenfeld abgelegt (Bild 3). Der Rübenköpfer wird durch den ersten Bedienungsmann gelenkt. Das Rübenroden wird mit drei an einem Rahmen befestigten Rübenrodegabeln vorge-

\* VEB BBG Landmaschinenerprobungsstelle, Leipzig.

(Fortsetzung von S. 450)

2. Die durchgeführten Untersuchungen haben die theoretischen Grundvoraussetzungen bestätigt. Es wurde festgestellt, daß die größte Trennwirkung bei  $\omega^2 r = g$  erreicht wird. Weiter wurde festgestellt, daß sich mit Verminderung der Exzentrizität bis zu  $r = 0,0095$  m die Qualität der Schichtbildung erhöht<sup>3)</sup>.

### Literatur

- [1] ANDRIANOV, K. K.: Elemente der Theorie der Samentrennung nach spezifischem Gewicht und Untersuchung der Kinematik des Rundsiebes. Dissertation. Omsk 1954.
- [2] GORJACKIN, V. P.: Über das Sortieren der Kartoffeln. Gesammelte Werke, Bd. 5.
- [3] LASCENKO, P. V.: Gravitationsaufbereitungsverfahren. Gostoptechisdat, 1940.
- [4] PROCENKO, I. A.: Kohleaufbereitung im Gravitationsverfahren. Ugletechisdat, 1954.
- [5] SYSOEV, N. I.: Untersuchung der Körnertrennung nach dem Prinzip des Auftreibens zur Oberfläche. Abschlußbericht des WISCHOM zum Thema 1301, 1948.
- [6] FIRSOV, N. V. u. a.: Entwicklung neuer Arbeitsteile für die Komplexkartoffelernte. Abschlußbericht des WISCHOM zum Thema Nr. 2301, 1954. AÜ 2799

<sup>3)</sup> S. a. Kompendium der sowjetischen Landmaschinentechnik. VEB Verlag Technik, Berlin 1954.



Bild 1. Längsschwad-Köpfröder E 710

nommen. An diesem Rahmen werden Stützrollen zur Einstellung der Arbeitstiefe sowie Scheibenseche angebracht, die zur Verhinderung von Verstopfungen Boden- und Pflanzenreste zerschneiden sollen. Die Rüben werden dann auf die im Roderahmen untergebrachte erste Siebkette befördert.

Hier sollen die Rüben gereinigt und weiterbefördert werden. Zur Erhöhung des Reinigungseffektes ist über der Siebkette ein Pendelrahmen angebracht. Während des Durchlaufes der Rüben wird die anhaftende Erde abgerieben. Die Rüben überspringen danach eine Fallstufe und gelangen dann auf die hintere Siebkette. Von dieser werden die Rüben über die verstellbare Rutsche zu einem sechser Längsschwad abgelegt. Die Rodeerzeuge werden durch den zweiten Bedienungsmann gelenkt. Der Längsschwad-Köpfröder ist mit einer Triebachse ausgerüstet, die über die Zapfwelle des Schleppers angetrieben wird. Als Schlepper können je nach den Einsatzverhältnissen die Typen RS 01/40 luftbereift, RS 01/40 mit Halbraupe, unter leichteren Einsatzverhältnissen aber auch die Schlepper RS04/30 luftbereift bzw. RS 14/30 mit Halbraupe Verwendung finden.



Bild 2. Rübenkopf, von Köpfern des E 710 geschnitten



Bild 3. Von Rüben geräumter Schwad zwischen zwei Blattschwaden