

Untersuchungen über die Eignung von Zyklonen zum Trennen von Korn-Strohhäcksel-Gemischen

Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim

Im Zusammenhang mit Versuchen zur Weiterentwicklung des Häckseldruschverfahrens sollte die Frage geprüft werden, ob die bekannten Einrichtungen zum Trennen von Korn, Spreu und Stroh, bestehend aus Sieben in Verbindung mit einem Druck- oder Saugwindstrom, durch andere einfachere Einrichtungen zu ersetzen sind. Als eine der Möglichkeiten, die sich hier anbieten, wurden Zyklone angesehen, wie sie vorwiegend in der Staubtechnik zum Abscheiden von Feststoffteilen aus dem Förderluftstrom verwendet werden, beispielsweise bei pneumatischen Anlagen zur Förderung von Getreide, Spreu, Holzspänen, Sägemehl und Staub. Zyklone zeichnen sich durch eine besonders einfache Wirkungsweise aus, die nahezu unabhängig von der Neigung der Zyklonenmittelachse und bei Verwendung in feldgängigen Arbeitsmaschinen, beispielsweise bei Mähreschern, auf unebener Fahrbahn unabhängig vom Gefälle ist. Sie besitzen keine angetriebenen Teile und sind einfach herzustellen. Diese Eigenschaften lassen den Zyklon zum Trennen von Korn-Strohhäcksel-Gemischen in stationären oder fahrbaren Häcksel Drescheinrichtungen ganz besonders geeignet erscheinen. Es wurde deshalb vorgesehen, Zyklone auf ihre Trenneigenschaften im Zusammenhang mit dem Häckseldruschverfahren grundlegend zu untersuchen¹⁾.

Die Konstruktion von Zyklonen hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht. Während früher Zyklone größtenteils empirisch entwickelt wurden, sind sie jetzt der Berechnung zugänglich [1 . . . 6]. Die Berechnungen beziehen sich allerdings nur auf die Trennung von Feststoffteilen aus Luft und Gasen und nicht auf die Trennung von Feststoffteilen untereinander mit verschiedenen physikalischen Eigenschaften, wie unterschiedliche Größe und Schwere in Verbindung mit der Luftförderung. Die vorliegenden Versuche haben ausschließlich die Trennung schwerer Feststoffteile von den leichteren zum Gegenstand. Dabei sollen die leichteren Feststoffteile mit der Luft gemeinsam abgeleitet werden. Die Versuche wurden an neueren Zyklonbauarten durchgeführt, die uns in dankenswerter Weise von Herstellerfirmen überlassen wurden. Da die Verwendung von Zyklonen für land-

wirtschaftliche Stoffe bisher wenig bekannt ist, wird im Rahmen dieses Versuchsberichtes etwas eingehender auf den Bau und die Verwendung von Zyklonen eingegangen.

Für die Versuche wurden Zyklone in der heute vorwiegend üblichen Bauweise (Bild 1) mit einem Einlaufbogen von 180° ohne luftführende Einbauten verwendet. Bei dieser Bauart werden die Feststoffe mit der Luft durch den Kanal a in den Zyklon hereingesaugt und tangential an den zylindrischen Abscheideraum b herangeführt. Über den Einlaufbogen, der spiralförmig zur Zyklonachse angeordnet ist, läuft der Kanal a im Zyklonzylinder b aus. Nach unten setzt sich der Abscheideraum in einem kegelförmigen Trichter c fort und endet in einem zylindrischen Auslaufstutzen d. Im oberen Teil, durch den das zylindrische Tauchrohr e hindurchführt, ist der Abscheideraum abgeschlossen. Unterschiede in den Zyklonbauarten findet man in den Kanaleinläufführungen und Einbauten im Tauchrohr, die die Strömungsverhältnisse verbessern sollen. Andere Zyklonbauarten wurden in die Versuche nicht einbezogen, da die hier beschriebene Bauart für die Klärung von grundlegenden Fragen ausreichte und andere Bauarten seltener verwendet werden.

Die mit Feststoffteilen beladene Luft wird dem zylindrischen Abscheideraum tangential zugeführt. In diesem entsteht eine Rotationsströmung, in der die Zentrifugalkraft auf die einzelnen Teile einwirkt und sie nach außen drängt. Die gleichzeitig angreifende Schwerkraft führt die Teile nach unten. Unter dem Einfluß der Kräfte wandern die Teile in einer wendelförmigen Bahn abwärts in einen Sammelbehälter. Die Luft verläßt den Abscheideraum durch das in der Zyklonachse angeordnete Tauchrohr.

Strömung der Luft

Aus Strömungsuntersuchungen ist bekannt, daß sich im Abscheideraum eine Art Wirbelsenke ausbildet, die nach der Theorie der idealen, reibungsfreien Strömung (Potentialströmung) der Gesetzmäßigkeit $u \cdot r = \text{const}$ gehorchen müßte²⁾. In Wirklichkeit jedoch ergeben sich bezüglich des Verlaufs der Umfangsgeschwindigkeiten und in noch höherem Maße bezüglich der Radial- und Axialgeschwindigkeiten erhebliche Abweichungen gegenüber der Theorie [1; 2; 3].

Bild 2 gibt den Verlauf der Umfangsgeschwindigkeiten wieder, wie man ihn im allgemeinen bei heute gebauten Zyklonen erwarten kann. Die Umfangsgeschwindigkeit im Abscheideraum steigt radial von außen nach innen an und fällt in der Nähe der Zyklonachse wieder auf Null. In unmittelbarer Nähe der Tauchrohrwand erreicht die Umfangsgeschwindigkeit einen Höchstwert. Eine Art

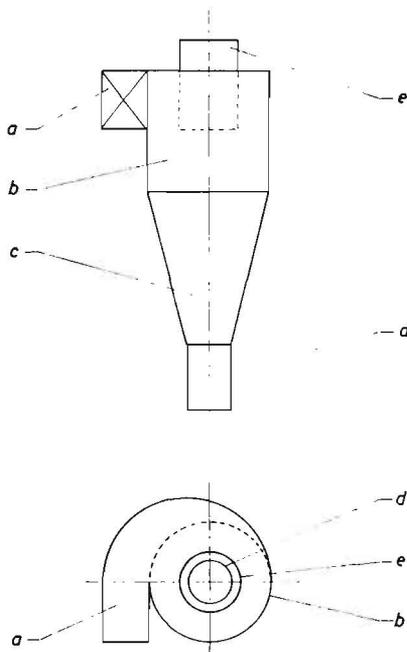


Bild 1: Aufbau des Zyklons

- a Einlaufkanal
- b zylindrischer Teil des Abscheideraums
- c kegelförmiger Teil des Abscheideraums
- d Auslaufstutzen
- e Tauchrohr

¹⁾ Die Arbeiten wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Institut für Landtechnik Stuttgart-Hohenheim (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. SEGLER) durchgeführt.

²⁾ Verwendete Bezeichnungen:

- r Abstand von der Zyklonachse
- r_a Halbmesser des Zyklonmantels
- r_z Halbmesser des Tauchrohrs
- h Abstand des Tauchrohrs vom Zyklonunterteil, gemessen auf einer Zylinderfläche vom Tauchrohrdurchmesser
- r_z Abstand Mitte Zykloneintritt von der Zyklonachse
- $F_z = 2 \cdot \pi \cdot r_z \cdot h$ Zylindermantelfläche (Schnittebene $z - z$)
- F_e Zykloneintrittsquerschnitt
- V Luftvolumendurchsatz
- γ Wichte der Luft
- g Erdbeschleunigung
- $v_c = V/F_e$ Mittlere Geschwindigkeit im Zykloneintrittsquerschnitt (Schnittebene $e - e$)
- $v_i = V/F_i$ Mittlere Axialgeschwindigkeit im Tauchrohreintrittsquerschnitt
- $v_z = V/F_z$ Mittlere Radialgeschwindigkeit auf der Zylinderfläche vom Durchmesser $2 \cdot r_z$ (Schnittebene $z - z$)
- u_z Mittlere Umfangsgeschwindigkeit auf der Zylinderfläche vom Durchmesser $2 \cdot r_z$ (Schnittebene $z - z$)
- Z Zentrifugalkraft
- W Luftwiderstandskraft
- G Einzelkorn- bzw. Häckselstückgewicht
- F Anströmfläche des Einzelkorns bzw. Häckselstückes
- c_w Widerstandsbeiwert von Einzelkorn bzw. Häckselstück

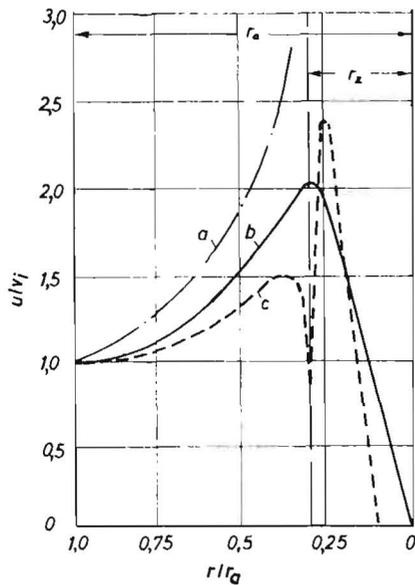


Bild 2: Umfangsgeschwindigkeiten der Luft in Abhängigkeit vom Abstand der Zyklonachse (nach [1])
 a nach Theorie $u \cdot r = \text{const.}$; b vor Tauchrohreintritt; c nach Tauchrohreintritt

Totraum bildet sich in der Zyklonachse aus, in welchem die Luftgeschwindigkeiten vernachlässigbar klein sind [1; 4; 5].

Kräfteverhältnisse an einem Feststoffteil im Zyklon

Für die Abscheidewirkung eines Zyklons sind die Kräfteverhältnisse maßgebend, denen ein Feststoffteil unterworfen ist. Zur rechnerischen Erfassung der Kräftewirkungen auf ein Einzelteil wird angenommen, daß es sich auf einem mittleren Stromfaden im Zyklon bewegt. Die Verhältnisse auf diesem Faden werden als Mittelwerte der wirklichen Strömung angenommen und der rechnerischen Betrachtung zugrunde gelegt. Für diese Betrachtung ist es gleichfalls notwendig, verschiedene besondere Querschnitte des Zyklonabscheiders zu betrachten, und zwar den Einlaufquerschnitt $e-e$, die Zylinderfläche $z-z$ vom Tauchrohrdurchmesser $2 \cdot r_z$ und der Höhe h (Bild 3). Die Radialgeschwindigkeiten werden als Mittelwerte über den gesamten Querschnitt aufgefaßt.

Zur Bestimmung der Kräftewirkungen werden die Verhältnisse auf einer Zylinderfläche vom Tauchrohrdurchmesser $2 \cdot r_z$ und der Höhe h betrachtet. Die nach innen gerichtete Radialgeschwindigkeit auf dieser Zylinderfläche sei v_z , die Umfangsgeschwindigkeit u_z . Die Axialgeschwindigkeit wird vernachlässigt. Ein Teil bewege sich auf einer Kreisbahn vom Durchmesser $2 \cdot r_z$. Auf ein Teil mit dem Gewicht G wirkt dann eine Zentrifugalkraft Z von der Größe

$$Z = \frac{G}{g} \cdot \frac{u_z^2}{r_z} \quad (1)$$

radial nach außen und eine Luftwiderstandskraft W nach dem allgemeinen hydrodynamischen Widerstandsgesetz von der Größe

$$W = c_w \cdot F \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot v_z^2 \quad (2)$$

radial nach innen.

Bei einem Gleichgewicht der Kräfte ist die Bedingung

$$Z = W \quad (3)$$

erfüllt, und das Teil behält die gleiche Kreisbahn bei. Im Falle $Z > W$ würde das Teil der Zentrifugalkraft folgen, nach außen an die Wandung des Abscheideraumes wandern und sich infolge der Schwerkraft G nach unten absetzen. Im umgekehrten Fall $Z < W$ würde das Teil der Luftwiderstandskraft folgen, mit der Luft zur Zyklonachse wandern und schließlich den Abscheideraum zusammen mit der Luft durch das Tauchrohr verlassen.

Durch Untersuchungen sollte die Frage geklärt werden, ob das Trennen von Körnern und gehäckseltem Stroh mit Hilfe eines Zyklons zu erreichen ist.

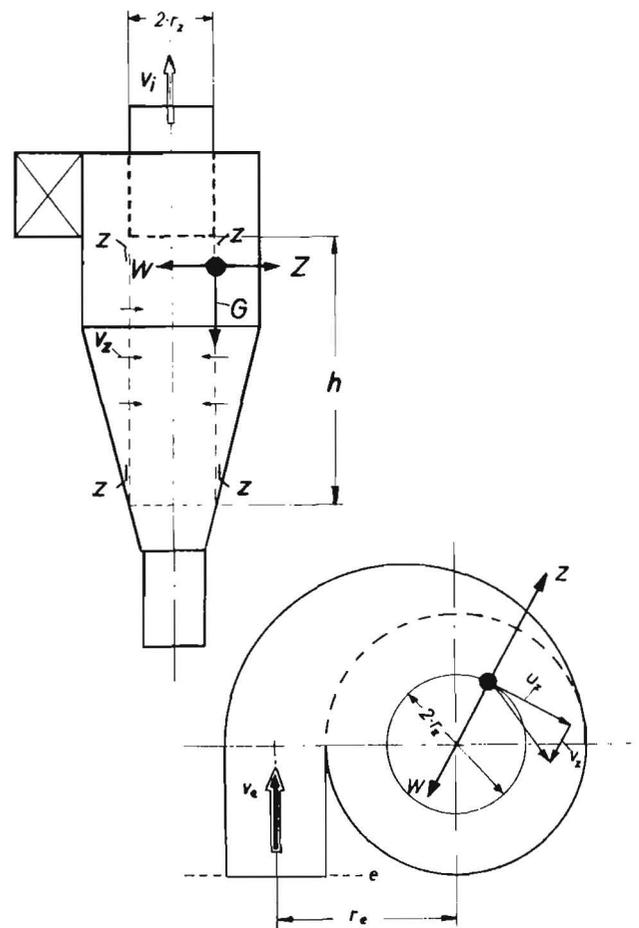


Bild 3: Schematische Darstellung der Luftgeschwindigkeiten im Zyklon und der Kräfte am Einzelkorn unten rechts: vergrößert

Aufbau der Versuchseinrichtung

Um die Trennmöglichkeiten zu untersuchen, wurde ein Versuchsaufbau aufgebaut (Bilder 4 und 5). Aus einem trichterförmigen Behälter a, in dem das Korn-Strohhacksel-Gemisch gelagert wird, fällt das Gemisch in den Luftansaugtrichter b (Bild 5). Die mit Korn und Strohhacksel beladene Luft strömt durch eine Rohrleitung mit diffusorartigem Übergangsstück c in den Zyklon d. In dem Zyklon d wird eine Trennung in der Weise angestrebt, daß

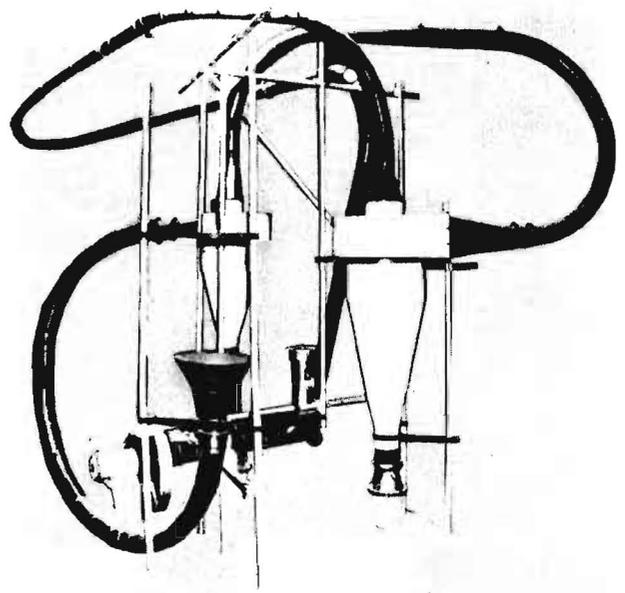


Bild 4: Ansicht der Versuchseinrichtung

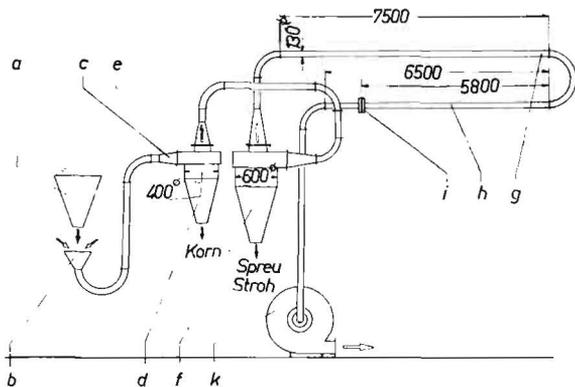


Bild 5: Schematische Darstellung der Versuchseinrichtung

- | | |
|------------------|------------------|
| a Behälter | f Zyklon |
| b Ansaugtrichter | g Rohrleitung |
| c Übergangsstück | h Einlaufstrecke |
| d Zyklon | i Blende |
| e Tauchrohr | k Gebläse |

die Körner aus dem Korn-Strohhäcksel-Luftgemisch nach unten abgeschieden werden (schwarzer Pfeil) und das Strohhäcksel mit der abgesaugten Luft den Zyklonabscheiderraum durch das Tauchrohr e nach oben verläßt.

Nach dem ersten Zyklon ist ein zweiter Zyklon f, der im Durchmesser des Abscheiderraums größer als der erste ist, angeordnet. Er soll das Gemisch aus Luft und Strohhäcksel so trennen, daß das Strohhäcksel den Zyklon f nach unten verläßt und die reine Luft durch das Tauchrohr nach oben durch die angeschlossene Rohrleitung g abgesogen wird. Die Rohrleitung g ist in einer langen Schleife geführt, bevor sie in die gerade Einlaufstrecke h übergeht. Die gerade Einlaufstrecke h dient als Beruhigungsstrecke des Luftstroms, dessen Volumendurchsatz mittels der eingebauten Blende i gemessen wird. Die Rohrleitung ist an der Saugöffnung des Gebläses k angeschlossen. Vor der Saugöffnung ist in der Rohrleitung ein Absperr- und Regelschieber eingebaut, die unabhängig voneinander betätigt werden können. Somit kann der Luftdurchsatz beliebig eingestellt werden. Die Abmessungen der verwendeten Zyklone gibt Bild 6 wieder.

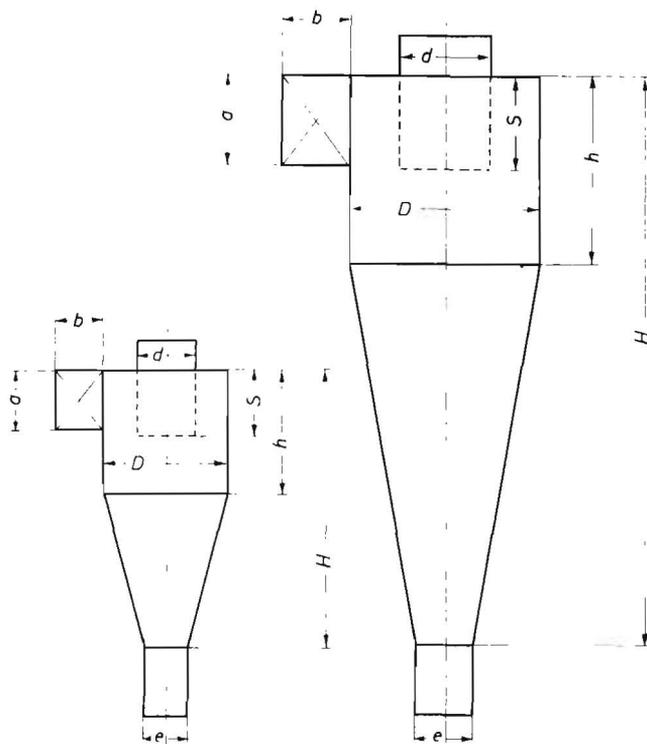


Bild 6: Abmessungen von Versuchszyklon d und Versuchszyklon f (vergleiche Bild 4)

Versuchsdurchführung

Es wurden Weizenkörner und Strohhäcksel in einem vorgegebenen Mischungsverhältnis verwendet und bei allen Versuchen die gleiche Gewichtsmenge aufgegeben. Der gewünschte Luftdurchsatz konnte mit dem Regelschieber eingestellt und der Differenzdruck zwischen Vorder- und Rückseite der Blende mit einem Debro-Miniskop gemessen werden. Nach dem Durchlauf des Gemisches wird der Inhalt der Sammelbehälter unter den Zyklonen gewogen und der Korn- und Strohanteil festgestellt.

Versuchsergebnisse

Bei den Versuchen ergab sich, daß es wohl möglich ist, den gesamten Anteil an Feststoffteilen, bestehend aus Körnern und Strohhäcksel, aus dem Luftstrom abzutrennen. Das gesteckte Ziel einer Trennung der Feststoffteile, also von Weizen und Häckselteilen, ließ sich leider nicht erreichen. Überraschend war die Tatsache, daß dazu auch zwei hintereinander geschaltete Zyklone nicht in der Lage waren. Das dem Luftstrom aufgeladene Korn-Strohhäcksel-Gemisch wurde vom Zyklon d vollkommen abgeschieden. Nur einige Spreu- oder Halmschälteile gelangten in den Zyklon f und wurden dort abgeschieden. Um eine Erklärung für dieses Ergebnis zu finden, wurden die notwendigen Gleichgewichtskräfte am Häckselstück und die daraus zu fordernden Geschwindigkeitsverhältnisse im Zyklon berechnet und mit den im Zyklon tatsächlich vorhandenen verglichen.

Tafel 1: Abmessungen und Gewichte von Haferstrohhäcksel

	Meßwerte			Rechenwerte		Anzahl der Messungen
	Mittl. Häcksellänge [mm]	Mittl. Halmdurchmesser [mm]	Mittl. Halmgewicht [mg]	Längengewicht [mg/mm]	Halmsoberfläche [cm ²]	
Häckselhalme ohne Knoten	76,0	4,34	125,43	1,65	10,35	120
Häckselhalme mit Knoten	76,5	4,6	192,1	2,51	11,08	66
Halmschälteile	142,5	—	55,05	0,386	—	10
Halmschälteiligkeit	12,1% Naßbasis					

Die Abmessungen und Gewichte von Getreidekörnern sind bekannt [9]. Für das Strohhäcksel mußten sie ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Mit den Angaben über Körner und Häcksel lassen sich die Kräfteverhältnisse, die sich im Abscheiderraum für ein Häckselstück ergeben, überschlägig nachrechnen. Für den Fall des Kräftegleichgewichts am Häckselstück muß die Bedingung (3) $Z = W$ erfüllt sein. Für die Rechnung wird angenommen, daß sich das Häckselstück auf einer Kreisbahn vom Tauchrohrdurchmesser $2 \cdot r_z$ bewegt. Aus der Gleichgewichtsbedingung läßt sich ableiten:

$$\frac{G}{g} \cdot \frac{u_z^2}{r_z} = c_w \cdot F \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot v_z^2$$

$$u_z^2 = \frac{c_w \cdot F \cdot \gamma \cdot r_z}{2 \cdot G} \cdot v_z^2$$

$$u_z = \sqrt{\frac{c_w \cdot F \cdot \gamma \cdot r_z}{2 \cdot G}} \cdot v_z \quad (4)$$

Der Ausdruck unter der Wurzel läßt sich mit den Daten des Häckselstückes, der Luft und des verwendeten Zyklons ausrechnen. In Tafel 2 sind die Daten des Häckselstückes ohne und mit Knoten zusammengestellt, um die Berechnung des Geschwindigkeitsverhältnisses $\frac{u_z}{v_z}$ vorzunehmen.

Tafel 2: Daten zur Errechnung des Geschwindigkeitsverhältnisses $\frac{u_z}{v_z}$

	Länge [mm]	Mittlerer Halm- durchm. [mm]	Mittleres Halm- gewicht [mg]	Anströmfläche F zur Windrichtung		Widerstands- beiwert c_w^*)		Spezif. Gewicht der Luft [kg/m ³]	Kreisbahn- radius r_z [mm]
				quer [mm ²]	längs [mm ²]	quer	längs		
Häckselstück ohne Knoten	76,0	4,3	125	330	14,8	0,9	0,99	1,23	95
Häckselstück mit Knoten	76,5	4,6	192	352	16,6	0,9	0,99	1,23	95

*) entnommen aus [8]

Mit den Zahlenwerten errechnet sich der Radikand bei Queranströmung des Häckselstückes ohne Knoten zu:

$$\frac{c_w \cdot F \cdot \gamma \cdot r_z}{2 \cdot G} = \frac{0,9 \cdot 330 \cdot 10^{-6} \cdot 1,23 \cdot 10^3 \cdot 95 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 125 \cdot 10^{-3}}$$

$$= \frac{34700}{250 \cdot 10^3} = 13,88 \cdot 10^{-2}$$

$$\sqrt{\frac{c_w \cdot F \cdot \gamma \cdot r_z}{2 \cdot G}} = 3,730 \cdot 10^{-1}$$

Für die Längsanströmung des Häckselstückes ohne Knoten erhält man den Wert:

$$\frac{c_w \cdot F \cdot \gamma \cdot r_z}{2 \cdot G} = \frac{0,99 \cdot 14,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,23 \cdot 10^3 \cdot 95 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 125 \cdot 10^{-3}}$$

$$= \frac{1713}{250 \cdot 10^3} = 6,85 \cdot 10^{-2}$$

$$\sqrt{\frac{c_w \cdot F \cdot \gamma \cdot r_z}{2 \cdot G}} = 0,828 \cdot 10^{-1}$$

Bei Queranströmung des Häckselstückes mit Knoten ergibt sich durch gleiche Rechnung der Radikand zu:

$$\sqrt{\frac{c_w \cdot F \cdot \gamma \cdot r_z}{2 \cdot G}} = 3,105 \cdot 10^{-1}$$

Bei Längsanströmung

$$\sqrt{\frac{c_w \cdot F \cdot \gamma \cdot r_z}{2 \cdot G}} = 0,707 \cdot 10^{-1}$$

Mit den errechneten Zahlenwerten ergibt sich für das Verhältnis der Umfangs- zur Radialgeschwindigkeit beim Häckselstück ohne Knoten ein Bereich von:

$$\frac{u_z}{v_z} = 0,08 \dots 0,4$$

und beim Häckselstück mit Knoten ein Bereich von

$$\frac{u_z}{v_z} = 0,07 \dots 0,3$$

In den errechneten Bereichen muß das Verhältnis der beiden Geschwindigkeiten liegen, damit das Häckselstück auf der vorgegebenen Kreisbahn kreisen kann. Ist das Geschwindigkeitsverhältnis $\frac{u_z}{v_z} > 0,4$, so wird das Häckselstück der Zentrifugalkraft folgen und aus der Luft abgeschieden werden; ist $\frac{u_z}{v_z} < 0,07$, dann folgt es der Luftwiderstandskraft und bleibt im Luftstrom.

Führt man für ein Weizenkorn die gleiche Rechnung durch, so erhält man mit den Daten für das Weizenkorn folgendes Ergebnis.

Widerstandsbeiwert des Einzelkorns von Weizen [9]:

quer zur Windrichtung: $c_w = 0,7$,
längs zur Windrichtung: $c_w = 0,35$.

Anströmfläche des Einzelkorns von Weizen [9]:

quer zur Windrichtung: $F = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$,
längs zur Windrichtung: $F = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.

Gewicht des Einzelkorns von Weizen [7; 9]:

$$G = (40 \dots 55) \cdot 10^{-3} \text{ g.}$$

Radius des Tauchrohres: $r_z = 95 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

Spezifisches Gewicht der Luft bei 15° C und 760 mm QS:

$$\gamma = 1,23 \cdot 10^3 \text{ g/m}^3.$$

Das Geschwindigkeitsverhältnis für ein Weizenkorn muß im Bereich von

$$\frac{u_z}{v_z} = 0,04 \dots 0,13$$

liegen, damit die Kräfte ausgeglichen sind. Vergleicht man das Geschwindigkeitsverhältnis für ein Weizenkorn mit dem für ein Häckselstück, so ergibt sich daraus, daß eine Trennmöglichkeit von Korn und Strohhäcksel vorhanden ist.

Der tatsächlich im Zyklon auftretende Bereich des Geschwindigkeitsverhältnisses liegt aber weit höher, wie nachfolgende Rechnung zeigt.

Nimmt man an, daß die Gutgeschwindigkeit $v_e = 15 \text{ m/s}$ und die Luftgeschwindigkeit $v_c = 20 \text{ m/s}$ beim Eintritt in den Zyklon betragen, so erhält man bei seinem Eintrittsquerschnitt von $F_c = 0,0285 \text{ m}^2$ nach der Kontinuitätsgleichung ein Eintrittsvolumen von $V = 0,57 \text{ m}^3/\text{s}$. Das Luftvolumen, welches gleich groß dem Eintrittsvolumen gesetzt wird, verläßt den Zyklon durch das Tauchrohr von 190 mm Durchmesser, wobei es radial durch den freien Tauchrohrmantel F_z mit $0,34 \text{ m}^2$ Oberfläche (gedachte Tauchrohrverlängerung h siehe Bild 3) in den Tauchrohrschacht einströmen kann.

Der Quotient Luftvolumen V durch Mantelfläche $F_z = 2 \cdot \pi \cdot r_z \cdot h$ liefert die radiale Einströmgeschwindigkeit der Luft von $v_z = 1,68 \text{ m/s}$.

Nach der Theorie der idealen, reibungsfreien Strömung gilt für die Umfangsgeschwindigkeit u die Gesetzmäßigkeit $u \cdot r = \text{const}$. Die Eintrittsgeschwindigkeit v_c der Luft in den Zyklon ist gleichbedeutend der Umfangsgeschwindigkeit. Der Mittelpunkt der Eintrittsfläche liegt $r_c = 275 \text{ mm}$ von der Zyklonachse entfernt. Es ergibt sich für $u \cdot r = 20 \cdot 275 = 5500 = \text{const}$. Die Umfangsgeschwindigkeit u_z der Luft in einer Entfernung von 95 mm von der Zyklonachse wird $u_z = \frac{5500}{95} = 57,9 \text{ m/s}$ groß. Die Umfangsgeschwindigkeit u_z des Kornes wird $u_z = 43 \text{ m/s}$ sein, wenn man einen Schlupf von 25% zwischen Korn und Luft annimmt.

Das theoretische Geschwindigkeitsverhältnis kann damit zu

$$\frac{u_z}{v_z} = 25,6 \text{ bestimmt werden.}$$

In Wirklichkeit liegt zwar das Geschwindigkeitsverhältnis niedriger. Bild 2 gibt den Verlauf der Geschwindigkeitsverhältnisse wieder, den man im allgemeinen bei den heute gebauten Zyklonen erwarten kann. Danach abgeschätzt wird sich ein Geschwindigkeitsverhältnis von $\frac{u_z}{v_z} = 5 \dots 15$ einstellen, aber trotzdem zeigt ein Vergleich der Geschwindigkeitsverhältnisse, daß der wirklich auftretende Wert (5 ... 15) fast hundertmal größer ist als der, der bei Gleichgewicht der Kräfte vorhanden sein müßte (0,07 ... 0,4). Infolge dieses Unterschiedes überwiegt die Zentrifugalkraft erheblich die Luftwiderstandskraft. Deshalb kann nur ein Abscheiden der aufgegebenen Korn- und Strohteile aus der Luft und keine Trennung der Feststoffteile erwartet werden.

Schlussbetrachtung

Das für die Trennung maßgebende Geschwindigkeitsverhältnis

$$\frac{u_z}{v_z} = \sqrt{\frac{c_w \cdot F \cdot \gamma \cdot r_z}{2 \cdot G}}$$

ist abhängig von den Größen, die unter der Quadratwurzel stehen. Der Widerstandsbeiwert c_w , die Anströmfläche F und das Gewicht G beziehen sich auf das einzelne Getreidekorn und Häckselstück. Die drei Größen, die dem Getreidekorn eigentümlich sind, sind naturgegeben und können nicht verändert werden. Das spezifische Gewicht der Luft ist ebenfalls fest vorgegeben. Das Häckselstück aber kann man verschieden lang machen, wodurch sich die Anströmfläche und das Gewicht proportional der Länge ändern. Variiert werden darf in geringem Maße der Tauchrohrdurchmesser r_z .

Das Produkt der Ausdrücke unter der Wurzel aber muß 10⁴mal größer werden, damit ihr Wert in den tatsächlich im Zyklon vorhandenen Bereich des Geschwindigkeitsverhältnisses fällt. Diese Forderung aber läßt sich durch Verkleinerung der Häcksellänge nicht verwirklichen. Es bleibt daher nur die andere Möglichkeit, die Umfangsgeschwindigkeit u_z zu verkleinern und die Radialgeschwindigkeit v_z zu vergrößern, um das im Zyklon vorhandene Geschwindigkeitsverhältnis dem von Weizenkorn und Häckselstück anzupassen. Mit den heute üblichen und uns bekannten Zyklonbauweisen ist eine Trennung von Teilen der vorliegenden Abmessungen und Gewichte nicht zu erreichen. Es gibt allerdings eine Ausnahme bei Teilen sehr kleiner Abmessungen. Bekannt ist aus der Verfahrenstechnik, daß die Trennung von Feststoffteilen aus einem Gemisch der Korngrößen von 5 bis 200 μ in zwei Korngrößenklassen mit Hilfe eines Zyklons möglich ist. Dabei wird von der Tatsache Gebrauch gemacht, daß für besonders kleine Teile im Gegensatz zu größeren nicht das allgemeine hydrodynamische Widerstandsgesetz gilt. Für Teile, die einen Durchmesser von 1 bis 20 μ haben, gilt das STOKESsche Widerstandsgesetz. Nimmt man an, daß sich ein solches Teil auf der Kreisbahn vom Durchmesser $2 r_z$ mit der Umfangsgeschwindigkeit u_z bewegt, so entsteht eine nach außen wirkende Zentrifugalkraft Z von der Größe

$$Z = \frac{G}{g} \cdot \frac{u_z^2}{r_z} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d^3 \cdot \frac{\gamma \alpha}{g} \cdot \frac{u_z^2}{r_z}$$

und eine entgegengesetzt gerichtete Luftwiderstandskraft W , die von der nach innen abströmenden Luft auf das Teil ausgeübt wird, nach dem STOKESschen Widerstandsgesetz von der Größe

$$W = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot v_z,$$

wobei d den Durchmesser einer Kugel mit gleichem Teilvervolumen, η die dynamische Zähigkeit und v_z die Radialgeschwindigkeit der Luft bedeuten.

Beide Kräfte sind in verschiedener Potenz vom Teildurchmesser und der Geschwindigkeit abhängig. Mit zunehmender Korngröße der Teile schwindet der Unterschied in den Potenzen, weil sich ihr Strömungsverhalten ändert. Je nach Korngröße überwiegt entweder die Zentrifugalkraft oder die Luftwiderstandskraft. Auf Grund des unterschiedlichen Strömungsverhaltens können Teile von 1 bis 20 μ Durchmesser von größeren Teilen mit Hilfe eines Zyklons getrennt werden.

Zusammenfassung

Es wurden theoretische und experimentelle Untersuchungen an Zyklonen zum Trennen von Korn und Strohhäcksel durchgeführt. Die Untersuchungen gehören zu den Bemühungen, das Häckseldruschverfahren weiter zu entwickeln. Die experimentellen Untersuchungen ergaben, daß Zyklone geeignet sind, Korn und Strohhäcksel aus der Förderluft abzusecheiden, also in bekannter Weise feste Stoffe von Luft zu trennen. Zyklone der heute üblichen Bauweise sind dagegen ungeeignet für die Trennung von Korn und Strohhäckselteilen untereinander. Sie kommen daher als Trenneinrichtungen für das Häckseldruschverfahren nicht in Betracht.

Die theoretischen Untersuchungen bestätigen das experimentell gefundene Ergebnis. Sie zeigen, daß die am Korn und Häckselstück angreifenden Zentrifugalkräfte sehr viel größer sind als die ihr entgegengerichteten Luftwiderstandskräfte. Die im Fliehkraftfeld des Zyklons üblicher Bauweise erzeugte hohe Zentrifugalbeschleunigung erleichtert nicht die Trennung von Korn und Strohhäcksel, sondern verhindert sie. Eine theoretisch als möglich nachgewiesene Trennung von Korn und Strohhäcksel müßte durch andere konstruktive Maßnahmen erreicht werden.

Schrifttum

- [1] BARTH, W.: Berechnung und Auslegung von Zyklonabscheidern auf Grund neuerer Untersuchungen. „Brennstoff, Wärme, Kraft“ 8 (1956), S. 1—9
- [2] BARTH, W.: Druckverluste und Abscheideleistungen von Zyklonabscheidern. In: VDI-Tagungshft 3, S. 11—15. VDI-Verlag Düsseldorf 1954
- [3] TER LINDEN, A. J.: Untersuchungen an Zyklonabscheidern. In: VDI-Tagungshft 3, S. 7—10. VDI-Verlag Düsseldorf 1954
- [4] FEIFEL, E.: Zyklonentstaubung. „Maschinenbau und Wärmewirtschaft“ 1 (1946), S. 36
- [5] FEIFEL, E.: Über Zyklonentstauber. Berechnungsgrundlagen, bauliche Weiterentwicklung, Ergebnisse. „Archiv Wärmewirtschaft“ 20 (1939), S. 15
- [6] MELDAU, R.: Handbuch der Staubtechnik. Band 1 und 11, VDI-Verlag Düsseldorf 1958
- [7] Faustzahlen für die Landwirtschaft. 3. Auflage, Deutscher Ammoniak-Vertrieb (DAV), Bochum 1951
- [8] ECK, B.: Technische Strömungslehre. 5. Auflage Springer-Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958.
- [9] BRENNER, W.: Beiträge zur Kenntnis des Sortiervorganges bei der Sichtung von Saatgetreide durch Windströme. (RKTL-Schrift, Heft 2) Benth-Vertrieb Berlin 1928.

Résumé

Bodo Hassebrauck: „Examinations on the Applicability of Cyclones for Separating Grain-Chaff-Mixtures.“

Theoretical and experimental examinations with cyclones for the separation of grain and chaff were made. The examinations served the purpose to develop the chaff-threshing-process. The experimental examinations have shown that cyclones are suitable for separating grain and chaff from the delivery air, i.e. to separate solids from air in the known way. Cyclones of today's usual method of construction are, however, unsuitable for the separation of grain and chopped straw. Therefore, they are of no concern as a separating device for the chaff-threshing-process.

The theoretical examinations confirm the experimentally found result. They show that the centrifugal forces working on the grain and piece of chaff are a good deal greater than the counter-directed forces of air resistance. The high centrifugal acceleration produced in the centrifugal force field of the conventional cyclone does not facilitate the separation of grain and chopped straw but prevents it. A possibility for the separation of grain and chaff proved possible theoretically should be attained by other constructive measures.

Bodo Hassebrauck: Recherches sur les possibilités d'utilisation de cyclones pour la séparation d'un mélange de grains et de paille hachée.

Afin de séparer les grains des fragments de paille hachée, on a effectué des recherches théoriques et expérimentales avec les cyclones. Ces recherches ont été entreprises en vue du développement de la méthode de battage de céréales hachées. Les recherches expérimentales ont montré que les cyclones peuvent éliminer les grains et les fragments de paille du courant d'air, donc séparer les solides de l'air suivant le phénomène connu. Par contre, les cyclones construits actuellement ne conviennent pas pour séparer les grains des fragments de paille. On ne peut donc les utiliser comme appareil de séparation dans le procédé de battage des céréales hachées.

Les recherches théoriques ont confirmé les résultats des expériences pratiques. Elles ont montré que les forces centrifuges qui agissent sur les grains et la paille hachée sont de beaucoup supérieures à la contre-réaction de l'air. L'accélération centrifuge très élevée créée dans le champ centrifuge des cyclones de construction conventionnelle ne facilite pas la séparation des grains de la paille, mais l'empêche. Il faut donc chercher d'autres mesures constructives afin de réaliser la séparation des grains de la paille suivant un principe reconnu comme utilisable à la suite de réflexions théoriques.

Bodo Hassebrauck: «Investigaciones sobre el empleo de ciclones para la separación de granos y de paja cortada.»

Se han hecho investigaciones teóricas y prácticas con ciclones, para separar el grano de la paja cortada, con el objeto de seguir desarrollando el procedimiento de la trilla de paja cortada. Los experimentos demostraron la posibilidad de eliminar con ciclones el grano y la paja cortada de la corriente de aire transportadora, es decir de separar en la forma conocida las sustancias sólidas del aire. En cambio los ciclones de los modelos actualmente en uso no se prestan para el procedimiento de separar los granos de las pajas en la trilla de paja cortada.

Las investigaciones teóricas confirman el resultado que dieron las pruebas prácticas; demuestran que las fuerzas centrifugas que atacan el grano y las pajas, son más elevadas que la resistencia que opone en aire. La aceleración centrifuga que se produce en el campo de fuerzas centrifugas de ciclones de construcción normal, no facilita la separación del grano de la paja, sino que la evita. Una posibilidad para la separación, demostrada por la teoría, exigiría otras medidas constructivas.