

Bild 4. Abhängigkeit des Massenstromes von der Schneckendrehzahl

Durch Zusammenführen zweier Förderströme wird, wenn die Schnecken in bezug auf ihre Abwurfkanten um  $180^\circ$  versetzt eingebaut sind, der Massenstrom der Dosiereinrichtung gleichmäßiger (Tafel 1). Der Massenstrom ist der Schneckendrehzahl proportional (Bild 4). Durch ständige Abschervvorgänge zwischen den Schnecken und dem den Dosierquerschnitt begrenzenden Blech treten an den Schnecken Deformationen auf. Durch elastische Gestaltung der Abscherkanten werden Verformungen an den Schnecken vermieden.

### 5. Schlußfolgerungen

Schneckenförderer sind für die dosierte Entnahme von losen und pelletierten Trockenfuttermitteln geeignet. Ein besonderer Vorteil des Schneckenförderers gegenüber anderen Entnahmeprinzipien besteht darin, daß er einen

entnommenen Gutstrom volumetrisch dosiert und durch konstruktive Änderungen am Entnahmeorgan ohne Änderung der Zuordnung Behälter—Trog massenflußartiges Entleeren des Behälters sichert. Schneckenförderer mit einer der parabolischen Form angenäherten konischen Gestalt lassen sich technisch z. B. durch mechanische Trennverfahren am besten realisieren. Die Maßabweichungen durch die angenäherte Gestalt führen zu keiner wesentlichen Minderung der Arbeitsqualität des Schneckenförderers bei der Entnahme von Futtermitteln.

### 6. Zusammenfassung

Im Beitrag wird die Möglichkeit untersucht, durch Schneckenförderer ein massenflußartiges Gutstromauslaufen aus einem keilförmigen Vorratsbehälter zu erreichen. Neben der Er-

mittlung von Berechnungsgrundlagen zur Bestimmung erforderlicher Schneckenparameter werden die Arbeitsqualität und Funktionssicherheit beim Dosieren und Entnehmen von unterschiedlichen Schneckenbauformen auf einem Laborprüfstand untersucht. Als günstigste Variante für das Entnehmen von Trockenfuttermitteln erweist sich eine Schnecke mit einem parabolischen Außendurchmesser, der aus Gründen der Fertigung durch eine konische Gestalt angenähert wird. Eine wesentliche Verbesserung der Arbeitsqualität beim Dosieren wird erreicht, wenn zwei Massenströme entsprechend der periodischen Gutabgabe von Schneckenförderern überlagert werden.

### Literatur

- [1] Agrotechnische Anforderungen an Zwischenlager- und Dosierbehälter für landwirtschaftliche Schüttgüter. FZM Schlieben/Bornim 1978 (unveröffentlicht).
- [2] Kurth, F.: Stetigförderer. Berlin: VEB Verlag Technik 1967.
- [3] Pul'čev, I. K.: Issledovanie processa dviženija sypučego materiala v bunkere šnekavogo dozatora (Untersuchung des Bewegungsprozesses von Schüttgut in Bunkern eines Schneckenförderers). Mechaniz. i. elektrifik. social. sel'skogo choz. (1977) H. 2, S. 43—44.
- [4] Gatzky, D.: Konstruktion einer Einrichtung für das Entnehmen und Dosieren von Trockenfuttermitteln aus Hochbehältern mit keilförmigen Auslauftrichtern. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Beleg 1979.
- [5] Michaelis, G.: Zur Dosierqualität von Strohhäcksel bei der Trockenfutterproduktion. agrartechnik 26 (1976) H. 11, S. 517—519. A 3022

## Erprobung eines pneumatischen Fördersystems für landwirtschaftliche Trockengüter

Dipl.-Ing. P. Willner/Dipl.-Ing. S. Hanke, KDT/Ing. K.-D. Hege, VEB Chemieanlagenbau Staßfurt

### Verwendete Formelzeichen

B	—	Belastungsgrad
d	m	Rohrleitungsdurchmesser
D	mm	Zyklondurchmesser
H	mm	Zyklonhöhe
K	—	dimensionsloser Faktor
$l_h$	m	Rohrleitungslänge (horizontal)
$l_v$	m	Rohrleitungslänge (vertikal)
$\Delta p, \Delta p_i$	Pa	Druckabfall
$\bar{\Delta p}_i$	Pa	korrigierter Druckabfall
$p_a$	Pa	statischer Druck am Anfang eines Druckverlustelements
w	m/s	Geschwindigkeit
$\zeta$	—	Widerstandsbeiwert
$\lambda$	—	Rohrreibungsbeiwert
$\mu$	kg/kg	Beladung des Luftstromes mit Fördergut
$\rho_L$	kg/m <sup>3</sup>	Luftdichte

### 1. Einleitung

Im Gegensatz zum pneumatischen Transport von Gütern mit einfachen geometrischen Par-

tikelformen existieren für landwirtschaftliche Produkte, wie Halme, Häcksel und Schnitzel, wenig Berechnungsunterlagen. Die Ursache liegt in der schwierigen Beschreibbarkeit dieser Produkte bezüglich der Größen „Korndurchmesser“, „Widerstandsbeiwert“ und „Sinkgeschwindigkeit“. Zur Auslegung pneumatischer Fördersysteme für derartige Güter ist man auf experimentelle Untersuchungsergebnisse angewiesen, wie sie z. B. in [1] für Holzspäne beschrieben werden.

### 2. Aufgabenstellung

Für eine Reihe landwirtschaftlicher Trockengüter, z. B. Gras, Maisganzpflanzen, Kartoffelschnitzel und Getreidekörner, sollte ein pneumatisches Fördersystem, bestehend aus den Hauptanlagenteilen Transportband, Ansaugdüse, Lüfter mit Rohrleitungen und Fliehkraftabscheidern, entwickelt und getestet werden. Folgende Randbedingungen waren vorgegeben:

- Das Trockengut wird von einem Transportband abgesaugt. Dessen Bandbelegung soll den Wert von 12,5 kg Gut je Quadratmeter Transportbandfläche nicht unterschreiten, um die Verhältnisse beim Wägeteil der Förderbandwaage Typ MIF mit den relativ hohen Schütthöhen simulieren zu können.
- Schwerteile dürfen nicht in das Fördersystem gelangen.
- Der Maximalwert des Abluftstaubgehalts beträgt 150 mg/m<sup>3</sup>.

### 3. Aufbau und Auslegung der Versuchsanlage

#### 3.1. Technologische Beschreibung

Im Bild 1 ist der schematische Aufbau der Versuchsanlage dargestellt. Vom Annahmedosierer a wird das Trockengut über eine Ansaugdüse b in den Zyklon c gesaugt. Nach Abscheidung des Hauptanteils des Trockengutes erfolgt der Austrag über die Zellenrad-

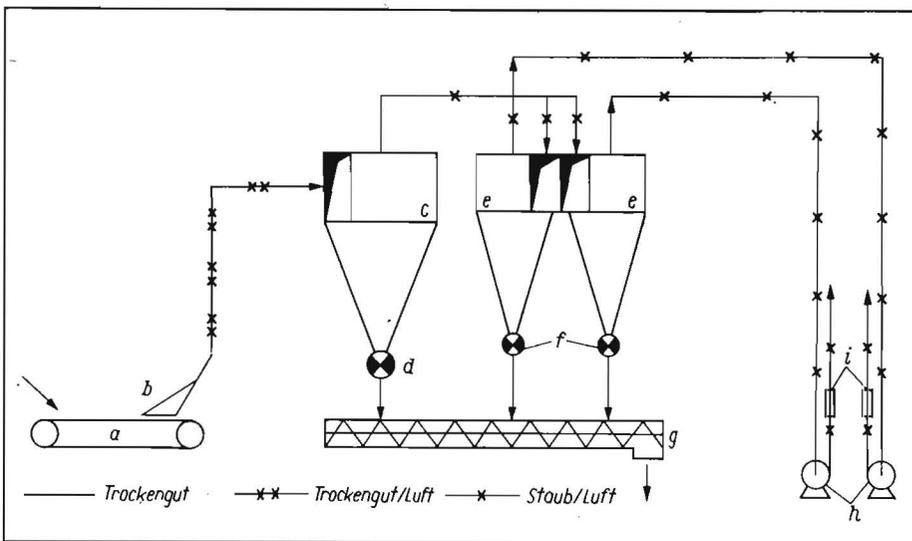


Bild 1. Schematischer Aufbau der Versuchsanlage; Erläuterung im Text

schleuse d. Die staubhaltige Abluft vom Zyklon c gelangt in die parallelgeschalteten Zykclone e, aus denen der Staub über die Zellenradschleusen f in die Sammelschnecke g fällt. Die gereinigte Abluft wird über die Gebläse h und Abluftrohre nach außen abgeführt. Die Drosselschieber i werden zur Luftmengenregulierung eingesetzt.

Im Bild 2 ist der Aufbau der Versuchsanlage im Trockenwerk Hohenseefeld, Bezirk Potsdam, dargestellt.

### 3.2. Auslegung

#### 3.2.1. Ansaugdüse

Die geforderte Bandbelegung bedingt bei leichten Gütern, wie getrocknetem Grashäcksel, große Schütthöhen. Bei einer Schüttdichte von  $60 \text{ kg/m}^3$  ergibt sich z. B. eine Schichthöhe von 210 mm. Zur Minimierung des Luftbedarfs für die pneumatische Förderung wurde die im Bild 3 gezeigte Ansaugdüse entwickelt.

Der Anstellwinkel der Ansaugdüse zum Band beträgt rd.  $15^\circ$ , ist aber durch die Aufhängung variabel. Der Ansaugschlitz wird durch einen Rechteckflansch eingefaßt. Damit soll das

Saugen von Luft über die Schlitzkante hinweg vermieden werden. Grundsätzlich wird bei Saugöffnungen mit Flansch das Geschwindigkeitsprofil verschoben und ermöglicht im Vergleich mit Öffnungen ohne Flansch höhere Erfassungsgeschwindigkeiten bei gleicher Entfernung des anzusaugenden Gutes von der Düse [2]. Zur Veränderung der Erfassungsgeschwindigkeit bei den unterschiedlichen Gütern dient die mit einer Blende verstellbare Saugschlitzhöhe. In Anlehnung an [3] wurde die Ansauggeschwindigkeit (Erfassungsgeschwindigkeit) bei Grashäcksel (Düsenöffnung 100%) mit 15 m/s festgelegt. In Verbindung mit der Düsen Schlitzhöhe ( $\triangle$  Schütthöhe auf dem Band) und der gegebenen Bandbreite liegt damit die Ansaugluftmenge des Lüfters fest. Zur Vermeidung unnötig hoher Druckverluste wurde der Übergang vom Rechteck- zum Kreisquerschnitt der flexiblen Rohrleitung mit einem strömungsgünstigen Öffnungswinkel von  $15^\circ$  ausgebildet [4]. Der Flanschteil zwischen Düsen Schlitz und Transportband ist leicht beweglich angebracht, damit sich abgesehene Schwerteile nicht vor der Düse stauen.

#### 3.2.2. Rohrleitungsdurchmesser

Aus gewählter Erfassungsgeschwindigkeit und Öffnungsquerschnitt ergab sich die anzusaugende Luftmenge. Bei der Auswahl der Luftgeschwindigkeit in der Transportleitung von max. 30 m/s wurden verschiedene Erfahrungswerte berücksichtigt (Tafel 1). Mit der Kontinuitätsgleichung erhält man den erforderlichen Rohrleitungsquerschnitt. Zur Druckverlustreduzierung wurde die Geschwindigkeit in der Abluftleitung mit rd. 10 m/s festgelegt, da bei dieser Transportgeschwindigkeit die Gefahr von Staubablagerungen nicht mehr gegeben ist.

#### 3.2.3. Fliehkraftabscheider

Von der richtigen Auswahl des Abscheidesystems hängt es ab, ob die geforderten Abluftstaubgehalte eingehalten und damit Trockenluftverluste vermieden, Reinigungsarbeiten reduziert sowie Arbeits- und Lebensbedingungen verbessert werden können.

Zur Lösung dieser Probleme wurde ein System in Reihe geschalteter Zykclone ausgewählt. Der erste Zyklon diente zur Materialabscheidung und ist durch geringen Druckverlust und eine Zellenradschleuse mit hohem Volumendurchsatz gekennzeichnet. Zur Feinstaubabscheidung wurden Hochleistungszyklone mit etwa dem 2- bis 3fach größeren Druckverlust und kleinen Zellenradschleusen angewendet. Zur Auswahl der Staubabscheider wurden die Rückstandsummenkurven landwirtschaftlicher Stäube (Bild 4), analysiert aus dem Reingas

Tafel 1. Luftgeschwindigkeiten für verschiedene Fördergüter

Fördergut	Luftgeschwindigkeit in der Rohrleitung m/s	Quelle
Holzpartikel (Spanlänge 3...9 mm, Spandicke 0,2...0,55 mm, Schüttdichte $140 \dots 370 \text{ kg/m}^3$ )	20...27	[1]
Getreidekörner	19...23	[5]
grober Sandstaub	> 14...20	[6]

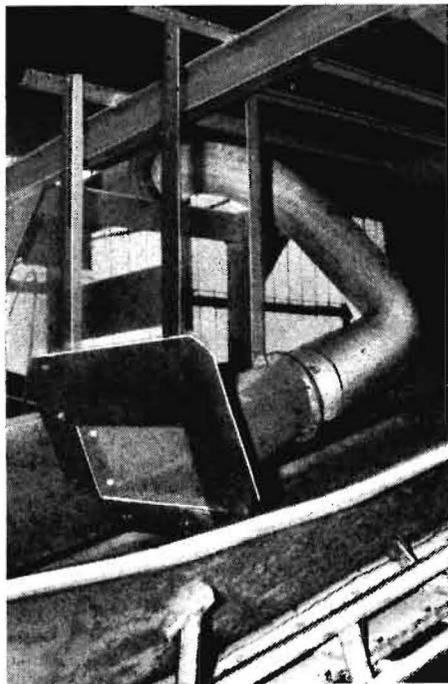


Bild 3 Ansaugdüse

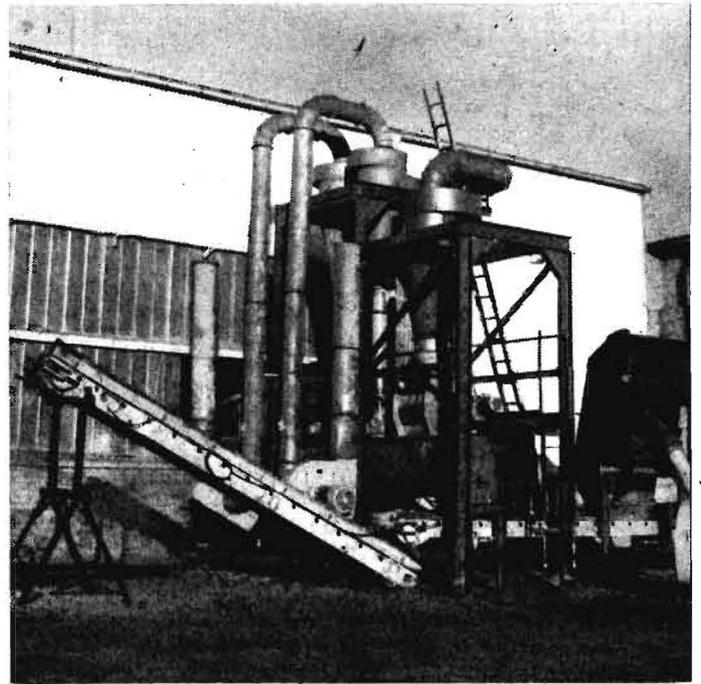
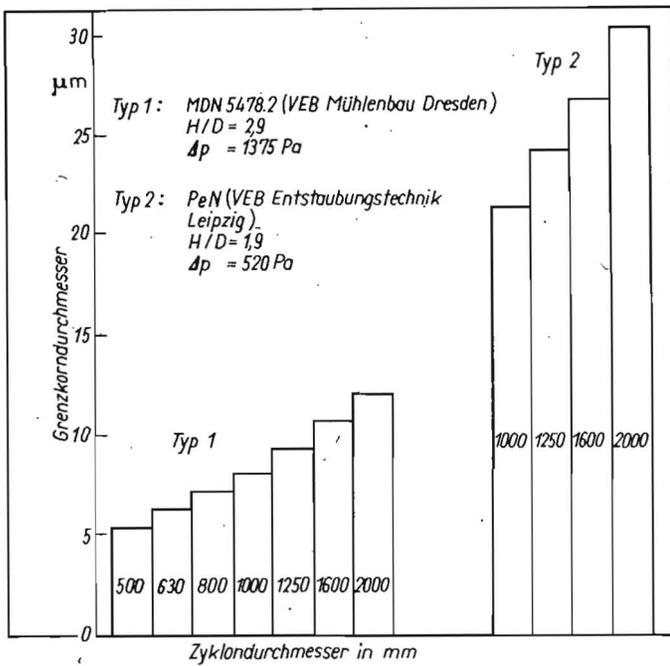


Bild 2 Teilansicht der Versuchsanlage



Tafel 2. Druckverlustzuwachs bei pneumatischer Förderung

	Zuwachs $\Delta p$ nach [10]	Zuwachs $\Delta p$ nach [11]
Materialansaugung	$(1 + \mu)$	$(1,1 + 0,7 \mu)$
horizontale Förderung	$(1 + 0,36 \mu)$	$(1 + 0,30 \mu)$
vertikale Förderung	$(1 + 0,36 \mu), (1 + \mu)$	$(1 + 0,30 \mu), (1 + \mu)$
Förderung durch Krümmen	$(1 + 0,65 \mu)$	$(1 + K \mu)$ $K = K(w)$
Geltungsbereich	Mittelwert von Getreide, Mais (Körner)	Getreide, Zwischen- und Fertigprodukte

Bild 5. Grenzkorndurchmesser verschiedener Zyklorntypen und -größen  
Bild 4. Rückstandsummenkurven landwirtschaftlicher Stäube

von Materialabscheidern mit niedrigem Abscheidegrad (Grenzkorndurchmesser 30 bis 40 µm) [7], herangezogen. Die gemessenen Reingasstaubgehalte lagen dabei mit 200 mg/m<sup>3</sup> (Getreidetrocknung) und 270 mg/m<sup>3</sup> (Gras-trocknung) oberhalb des zulässigen Maximalwerts. Nach dem in [8] praktizierten Verfahren der Zyklorauslegung wurde ermittelt, daß die einzusetzenden Staubabscheider den Grenzkorndurchmesser 20 µm haben müssen, um die geforderten Reingasstaubgehalte einzuhalten. Im Bild 5 sind die erreichbaren Grenzkorndurchmesser von zwei Serien industriell gefertigter Zyklorntypen dargestellt. Diese wurden für Luft (20°C) und eine Staubdichte von 1200 kg/m<sup>3</sup> bei der Zyklor-eintrittsgeschwindigkeit von 14 m/s (Belastungsgrad 1) nach Barth [9] berechnet. Mit Grenzkorndurchmessern zwischen 5 µm und 15 µm erfüllen die MDN-Abscheider die Forderungen bezüglich des Abluftstaubgehalts.

### 3.2.4. Lüfter

Infolge der Materialbeladung des Luftstroms bei der pneumatischen Förderung treten erhöhte Druckverluste im Vergleich zur Strömung der reinen Luft auf. Eine von der Partikelform landwirtschaftlicher Trockengüter ausgehende theoretische Berechnung der Rohrreibungsverluste ist, wie bereits erwähnt, nicht möglich. Als geeignet für vorliegendes Auslegungsproblem erwiesen sich zwei Gleichungsgruppen (Tafel 2). Mit den Klammerausdrücken sind jeweils die Druckverluste der reinen Luftströmung zu multiplizieren.

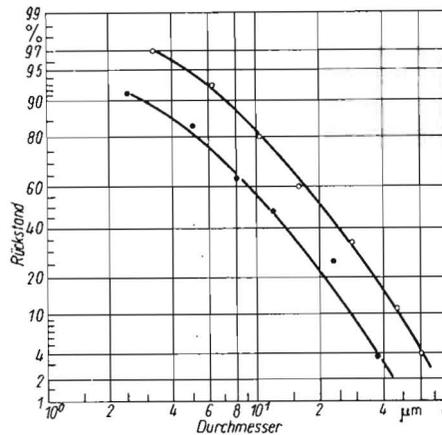
Für die Auslegung wurde die Gleichungsgruppe mit der höheren Bewertung der Materialbeladung angewendet. Die kompletten Gleichungen lauten wie folgt:

— Beschleunigungsdruckverlust bei Materialansaugung:

$$\Delta p_1 = (1 + \mu) \frac{w^2 \rho_L}{2}$$

— Druckverlust bei horizontaler Materialförderung:

$$\Delta p_2 = (1 + 0,36 \mu) \lambda \frac{l_h}{d} \frac{w^2 \rho_L}{2}$$



— Druckverlust bei vertikaler Materialförderung:

$$\Delta p_3 = (1 + 0,36 \mu) \lambda \frac{l_v}{d} \frac{w^2 \rho_L}{2} + \rho_L (1 + \mu) l_v$$

— Druckverlust in Rohrkrümmern:

$$\Delta p_4 = (1 + 0,64 \mu) \zeta \frac{w^2 \rho_L}{2}$$

— Druckverlust in Formstücken:

$$\Delta p_5 = (1 + 0,36 \mu) \zeta \frac{w^2 \rho_L}{2}$$

— Druckverlust am Fliehkraftabscheider für Material (abgeleitet aus Diagramm in [12]):  $\Delta p_6 = 509 B^2 + 13; 0,6 \leq B \leq 1,8$

— Druckverlust am Fliehkraftabscheider für Staub (abgeleitet aus Diagramm in [13]):  $\Delta p_7 = 2943 B - 1570; 0,8 \leq B \leq 1,2$

— korrigierter Druckverlust infolge Volumenänderung der strömenden Luft [5]:

$$\Delta p_i = p_a [1 - \sqrt{1 - (2 \Delta p_i / p_a)}]$$

In den Anlagenteilen ohne Gutbeladung ergibt sich der Druckverlust durch Einsetzen von  $\mu = 0$ . Die Werte für  $\lambda$  und  $\zeta$  (reine Luft) wurden [4] entnommen.

## 4. Versuchsergebnisse

### 4.1. Ansaugdüse

In Tafel 3 sind die erprobten Trockengüter näher charakterisiert. Sie erweisen sich als repräsentativ für die breite Palette landwirtschaftlicher Trockengüter, die von leichtem Gut großer Teilchenabmessungen bis zu schwerem Gut mit kleinen Abmessungen reicht.

In Tafel 4 sind die Versuchsergebnisse (Mittelwerte aller Messungen) zusammengefaßt.

Die Trockengutdurchsätze entsprechen den projizierten Werten. Die Leistungsfähigkeit der Ansaugdüse zeigt sich vor allem in den hohen Volumendurchsätzen bei Gras und Mais. Bei diesen Medien reicht die projizierte Ansauggeschwindigkeit von 15 m/s aus. Zur Förderung der übrigen Güter mußte der Düsen-schlitz verkleinert werden (Ansauggeschwindigkeit 25 bis 38 m/s).

Die Auswahl des Rohrleitungsdurchmessers sowie der Luftgeschwindigkeit hat sich als richtig erwiesen. Es traten keine Verstopfungen und Ablagerungen auf. Die Werte der Gutbeladung schwanken zwischen 0,1 und 0,9. Das ist der Bereich der sog. Flugförderung, wie sie bei Teilchengrößen oberhalb 1 mm und wenig rieselfähigen Gütern üblich ist [14]. Die Werte der Bandbelegung wurden bei den Maximalleistungsversuchen z. T. beträchtlich überschritten.

### 4.2. Schwerteilabscheidung

Schwerteile, wie Blechstücke, Schweißelektroden, Drahtstücke, Steine unterschiedlicher Größe und Pellets, wurden dem Trockengutstrom auf dem Förderband vor der Ansaugdüse beigegeben. Im Bild 6 ist eine Auswahl von Schwerteilen dargestellt, die von der Ansaugdüse nicht angenommen wurden. Mit der 100%igen Abscheidung dieser Teile wird die Ansaugdüse ihrer Funktion als Schwerteilabscheider gerecht.

Der sehr gute Aussonderungsgrad sogar bei Schütthöhen von 350 mm (Mais) ist auf die spezielle Konstruktion der Ansaugdüse zurückzuführen. Durch den Rechteckflansch kommt eine Luftführung zustande, die in genügend großem Abstand von der Düsenmün-

Tafel 3. Angaben zu den untersuchten Trockengütern

Trockengut	Schüttdichte kg/m <sup>3</sup>	TS-Gehalt %	Teilchengröße mm	Bemerkung
Wiesengras (getrocknet, ungemahlen)	70	86,8	40...80	brückenbildend, verklebt, verfilzt, Ballendurchmesser bis 100 mm, staubhaltig, verunreinigt durch Schwerteile
Maisganzpflanzen (getrocknet)	60	65,3	10...35	rieselfähig, stark staubhaltig
Kartoffelschnitzel (getrocknet, gemahlen)	550	—	10...40	rieselfähig, stark staubhaltig
Getreidekörner (getrocknet)	830	—	4...6	—

Tafel 4. Versuchsergebnisse

Kennzahl	Trockengutart Gras	Trockengüter						
		Maisganzpflanzen	Kartoffelschnitzel	Getreidekörner				
Trockengutdurchsatz	t/h	0,52	1,65	0,66	2,60	2,08	5,10	1,50
	m <sup>3</sup> /h	7,43	23,60	11,00	43,30	3,78	9,27	1,81
Höhe des Ansaugschlitzes	mm	95	200	95	200	95	95	60
Höhe der Schüttschicht	mm	135	210	—	350	300	300	40
Ansaugeschwindigkeit	m/s	32	15	32	15	25	27	38
Geschwindigkeit in der, Rohrleitung	m/s	24	31	24	31	24	26	23
Gutbeladung der Luft	kg/kg	0,10	0,25	0,13	0,40	0,41	0,92	0,30
Bandbeladung	kg/m <sup>2</sup>	4,8	15	5,4	21	67	165	33
Rohgasstaubgehalt (vor Materialabscheider)	g/m <sup>3</sup>	127	236	163	372	534	850	305
Reingasstaubgehalt (hinter Staubabscheider)	g/m <sup>3</sup>	0,060	—	0,052	—	0,116	—	—

die den ankommenden Schüttgutberg auflockert, abträgt und Schwerteile nach unten in Richtung Gurtband sinken läßt. In unmittelbarer Nähe der Mündung reichen Anstellwinkel und Ansaugeschwindigkeit nicht mehr aus, die Fremdkörper aufzunehmen.

#### 4.3. Fliehkraftabscheidesystem

Die Messungen des Reingasstaubgehalts in der Abluftleitung der Staubzylone erfolgten gemäß der Richtlinie [15] mit dem Staubmeßgerät GS 1, Variante B. Die Meßergebnisse als Mittelwerte von je drei Einzelwerten enthält Tafel 4. Sie beweisen, daß das gewählte Abscheidesystem mit Vor- und Nachabscheider

die Forderungen bezüglich Abluftstaubgehalt reproduzierbar erfüllt. Die Werte liegen teilweise weit unter der Maximalgrenze. Ursache ist der eingesetzte Hochleistungsabscheider mit einem Grenzkorndurchmesser von rd. 7 µm. Aufgrund dieser Versuchsergebnisse sowie von Messungen in einer Kaltpelletieranlage [16] wird die Kombination der im Bild 5 vermerkten zwei Abscheidertypen zur Material- und Staubabscheidung in pneumatischen Förderanlagen landwirtschaftlicher Güter als ausreichend angesehen. Allerdings wird der geringe Abluftstaubgehalt mit einem erhöhten elektrischen Energieaufwand erkauft. Beim Einsatz eines Staubabscheiders vom Typ MDN 5478.2 sind es 1 bis 15 kW im Durchmesserbereich von 500 bis 2000 mm (Ventilatorwirkungsgrad 0,5).

#### 4.4. Lüfter

Beim praktischen Betrieb hat sich erwiesen, daß der auf Grundlage o.g. Gleichungen dimensionierte Lüfter ausreichend war. Um den Vergleich mit pneumatischen Förderanlagen für ähnliche Medien zu ermöglichen, wurde eine Kennzahl für den spezifischen Energiebedarf gebildet. Darin wird die aufgenommene elektrische Leistung auf den stündlichen Durchsatz an Gut und die äquivalente Rohrleitungslänge bezogen. Die auf den Angaben des Prüfberichts [3] beruhenden spezifischen Energiebedarfszahlen liegen im Bereich von 0,023 bis 0,038 kW/(t/h · m) (Strohhacksel, Heuhacksel). Die Versuchsanlage ergab für die einzelnen Trockengüter Werte zwischen 0,030 und 0,050 kW/(t/h · m). Eine genaue Ermittlung der

Bild 6. Abgeschiedene Schwerteile (zum Größenvergleich: der Durchmesser der Unterlage beträgt 300 mm)



Druckverlustbeiwerte für Rohrleitungen und Krümmer bei verschiedenen Gütern, Beladungen und Luftgeschwindigkeiten, wie sie in [1] beschrieben ist, wurde nicht durchgeführt, da sie nicht im Rahmen der Aufgabenstellung lag. So können diese Angaben nur als Richtwerte zur Lüfterauslegung aufgefaßt werden.

#### 5. Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus dem Versuchsbetrieb einer kleintechnischen Anlage zur pneumatischen Förderung von Trockengütern wurden mitgeteilt.

Mit den ausgewählten Querschnitten und Geschwindigkeiten ließen sich Halme, Häcksel, Schnitzel und Körner im Bereich der Flugförderung problemlos transportieren. Die spezielle Ansaugdüse bewies ihren Universalcharakter als Materialschleuse hoher Leistung und wirkungsvoller Schwerteilabscheider.

Beim Fliehkraftabscheidesystem, bestehend aus Vor- und Nachabscheider, wurden trotz hohen Feingutanteils Emissionswerte unterhalb der vorgegebenen Grenzen gemessen. Die spezifischen Energiebedarfszahlen der untersuchten Anlage sind bezüglich ihrer Größenordnung mit denen bewährter landwirtschaftlicher Anlagen zur pneumatischen Förderung von Trockengütern vergleichbar.

#### Literatur

- [1] Thiele, M.: Untersuchungen zum pneumatischen Transport von Holzpartikeln. Holztechnologie 19 (1978) H. 3, S. 158.
- [2] Vogel, P.: Schadstofffassung. Berlin: VEB Verlag Technik 1975.
- [3] Häckselgebläse Typ ME 35: ZPL Potsdam-Bornim. Prüfbericht 1963.
- [4] ILKA-Berechnungskatalog Teil E 4.3.1. „Berechnung von Rohrleitungsnetzen“: Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden 1976.
- [5] Kurth, F.: Stetigförderer. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.
- [6] Stief, E.: Lufttechnische Berechnungstabellen — Absauganlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1971.
- [7] Hanke, S.: Staubmessungen in landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen. VEB Chemieanlagenbau Staßfurt, Meßbericht 1979 (unveröffentlicht).
- [8] ILKA-Berechnungskatalog 5.3.3.1 „Auslegung von Anlagenteilen — Zyklonabscheider“: Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden 1973.
- [9] Barth, W.: Berechnung und Auslegung von Zyklonabscheidern auf Grund neuerer Untersuchungen. Brennstoff-Wärme-Kraft 8 (1956) H. 1, S. 1.
- [10] Mey, H.: Fließarbeit und Förderung von Massengütern. Halle: Wilhelm-Knapp-Verlag 1951.
- [11] Berechnungsunterlagen für pneumatische Förderung. VEB Mühlenbau Dresden.
- [12] Datenblatt Fliehkraftabscheider. VEB Entstaubungstechnik Leipzig.
- [13] Fliehkraftabscheider für Staub (MDN 5478.2). Werkstandard VEB Mühlenbau Dresden.
- [14] Vauck/Müller: Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik. Dresden: Verlag Theodor Steinkopff 1974.
- [15] ILKA-Berechnungskatalog Teil 6.3.1 „Richtlinie für Leistungsmessungen an Staubabscheidern“: Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden 1978.
- [16] Hanke, S.: Staubmessungen an den Fliehkraftabscheidern der ZGE Kaltpelletieranlage Griesheim 1978. VEB Chemieanlagenbau Staßfurt, Meßbericht 1979 (unveröffentlicht)