

Christian Füll, Potsdam-Bornim, und Udo Kranz, Rostock

Staubbelastungen vermeiden

Optimieren von Zyklonen für das Befüllen von Kraftfuttersilos

Das pneumatische Befüllen von Kraftfuttersilos über Zyklo-nen vermindert die Entmischung des Gutes im Silo. Der zulässige Grenzwert des Staubgehaltes in der Abluft ist jedoch ohne Zellradschleuse nur schwer einzuhalten. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß dies gelingt, wenn der Zyklon für den jeweiligen Einsatzfall optimiert wird und der Abschlußkegel am Zyklo-nenausgang in der richtigen Lage angeordnet ist. Auf eine zusätzliche Nachentstaubung mit Filtern kann dann verzichtet werden.

Frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß beim pneumatischen Füllen von Kraftfuttersilos das Trennen von Förderluft und Gut vor dem Eintritt in das Silo die Entmischung infolge von Luftströmungen vermindert [1]. Um jedoch die über das Tauchrohr des Zyklons entweichende Abluft nicht noch zusätzlich durch nachgeschaltete Filter entstauben zu müssen, ist eine optimale Dimensionierung erforderlich. Der Grenzwert für den Staubgehalt in der Abluft beträgt nach der TA – Luft 50 mg/Nm³. Aber schon jetzt werden in einigen Kommunen geringere Staubgehalte vorgeschrieben.

Nachfolgend werden zunächst die Einflußgrößen analysiert und Möglichkeiten für eine Optimierung aufgezeigt. Danach wird für Kraftfuttersilos, die in den ost-deutschen Bundesländern in großer Stückzahl vorhanden sind, ein Zyklon dimensioniert und über Einsatzuntersuchungen berichtet.

Analyse der Einflußgrößen

Zur Berechnung von Zyklonen wurden von Muschelknautz [2] für die komplizierten Strömungsverhältnisse vereinfachte Modellvorstellungen entwickelt. Weitere Optimierungen durch Untersuchungen über den Einfluß verschiedener

Zyklonparameter auf die Abscheidung wurden unter Leitung von Löffler [3] durchgeführt.

Während der Bewegung im Wirbel mit dem Radius r_i wirken auf ein Staubteilchen bei der Umfangsgeschwindigkeit u_i und der Radialgeschwindigkeit w_i die Zentrifugalkraft F_Z , die Widerstandskraft F_W und die Druckkraft F_P , die aber bei Gasen vernachlässigt werden kann. Für Partikel mit der Größe x_P , dem Volumen V_P , der Dichte ρ_P , der Anströmfläche A_P , dem Widerstandsbeiwert c_W sowie für die Gasdichte ρ_G und die dynamische Zähigkeit des Gases η sind:

- Zentrifugalkraft: $F_Z = \rho_P \cdot V_P \cdot \frac{u_i^2}{r_i}$ (1)

- Widerstandskraft:
 - allgemein: $F_W = c_W \cdot A_P \cdot \frac{\rho_G}{2} \cdot w_i^2$ (2)

- bei laminarer Umströmung: $F_W = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot w_i \cdot x_P$ (3)

Aus dem Kräftegleichgewicht $F_Z = F_W$ erhält man nach weiteren Schritten und unter Einfügen des Gasvolumenstromes V_G , des Radius r_i des Tauchrohres, der Höhe h_i des Abscheideraumes, der Tauchrohr-geschwindigkeit v_i und der Querschnittsfläche des Tauchrohres A_i für den Grenz-korndurchmesser x_P^* die Gleichung (4):

$$x_P^* = 3A_i \cdot \frac{v_i}{u_i} \cdot \sqrt{\frac{\eta}{\pi \cdot h_i \cdot (\rho_P - \rho_G) \cdot V_G}}$$
 (4)

Durch verschiedene Einflußfaktoren erfolgt praktisch die Abscheidung der Staubpartikel nicht exakt beim Grenzkorn. In Versuchen wurden für bestimmte Zyklontypen Fraktionsabscheidegradverläufe ermittelt, die aus-sagen, welcher Anteil $T(x_P)$ in Abhängigkeit vom bezogenen Partikel-durchmesser x_P/x_P^* abgeschieden wird [2]. Die Verläufe für den Fraktionsabscheidegrad sind unabhängig von der Baugröße.

Nach Gleichung (4) wird der Grenz-korndurchmesser kleiner, wenn:

- die Umfangsgeschwindigkeit u_i größer,

- die Zyklo-nhöhe h_i größer und
- die Querschnittsfläche A_i kleiner wer-den.

Überschreitet die Staubbelastung eine bestimmte Grenzkonzentration μ_{Gr} , wird ein Anteil T_1 sofort bei Eintritt des staub-beladenen Rohgases mit der Gesamtbeladung μ_A abgeschieden:

$$T_1 = 1 - \frac{\mu_{Gr}}{\mu_A}$$
 (5)

Für die Grenzbeladung μ_{Gr} gibt es in der Literatur mehrere Gleichungen [3, 4, 5]. Der Staubanteil, der in die Wirbelströmung gelangt, wird nach den Fraktionsabscheidekurven $T(x_P)$ abgeschieden. Mit dem Masseanteil $q_A(x_P)$ einer Teilchengrößenfraktion Δx berechnet sich dieser Anteil T_2 nach der Gleichung:

$$T_2 = \sum_{i=1}^n T(x_P) \cdot q_A(x_P) \cdot \Delta x_P$$
 (6)

Aus beiden Anteilen erhält man den Gesamtabscheidegrad T_{ges} zu:

$$T_{ges} = T_1 + T_2 \cdot (1 - T_1)$$
 (7)

Dimensionierung und Konstruktion

Die Berechnung eines Zyklons ist in der Regel nicht in einem einzigen Schritt möglich, man muß sich also iterativ mit mehreren Rechnungen einer optimalen Konstruktion nähern. Unterstützung geben hierbei Auslegungsdiagramme [2] und Richtwerte für bewährte Geometrie-

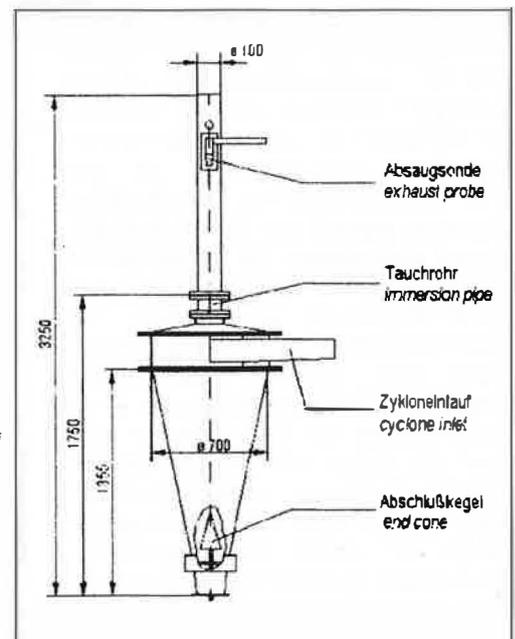


Bild 1: Konstruktionsparameter des Zyklons

Fig. 1: Design parameter of the cyclone

Priv. Doz. Dr.-Ing. habil. Christian Füll leitet die Abt. Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung im ATB Potsdam-Bornim (Wiss. Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zanke), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim, e-mail: cfuerll@atb.uni-potsdam.de
Dipl. Ing. Udo Kranz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umwelttechnik, FB Maschinenbau/Schiffstechnik der Universität Rostock (Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Steinbrecht).

verhältnisse. Die Berechnung des Zyklons erfolgte für Kraftfutter mit den Parametern: Gutdichte ρ_G : 1450 kg/m³, mittlere Partikelgröße $x_{50,3}$: 2,46 mm, Gut-Massestrom m_P : 20000 kg/h, Gut-Volumenstrom V_P : 40 m³/h und einem Luftvolumenstrom $V_G = 660$ m³/h. Der notwendige Gesamtabscheidegrad T_{ges} ergibt sich aus den Forderungen der TA – Luft mit $T_{ges} = 0,999998$.

Mit dieser Aufgabenstellung wurde ein Zyklon berechnet und dimensioniert [6] (Bild 1).

Der rechnerische Gesamtabscheidegrad ergibt sich für diesen Zyklon zu $T_{ges} = 1,0$. Unter praktischen Einsatzuntersuchungen muß insbesondere der Einfluß der Anordnung des Abschlußkegels auf die Abscheidung festgestellt werden. Dieser wurde vorgesehen, um auf die an sich wirkungsvollere Zellradschleuse mit einem zusätzlichen Antrieb verzichten zu können.

Versuche

Für derartige Versuche steht im Institut für Agrartechnik Bornim eine Fullscale-Anlage zur Verfügung. Um die Meßergebnisse auf die praktische Anwendung in landwirtschaftlichen Betrieben beziehen zu können, wurden die Versuche mit einem Gutmassenstrom von 20 t/h durchgeführt.

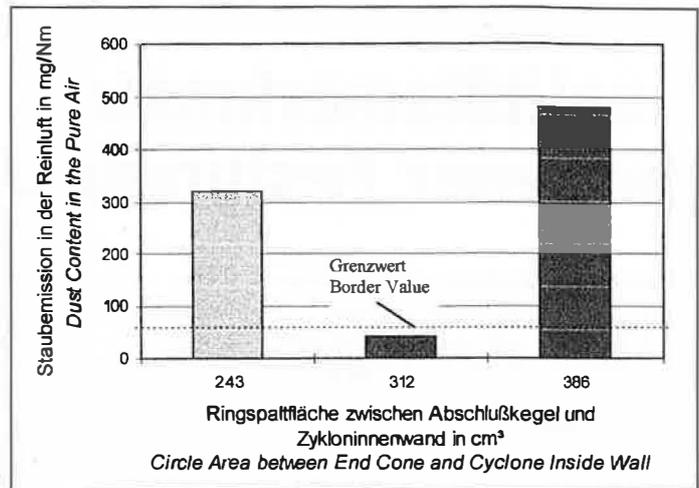
Die Bestimmung des Staubgehaltes im Reingas erfolgte nach dem Prinzip der Teilstromentnahme mit der Staubmeßeinrichtung STE4 der Firma Ströhlein. Für die Messungen wurde ein vertikales Meßrohr auf das Tauchrohr (Abluftrohr) aufgesetzt. Die Teilstromentnahme erfolgte in der Meßrohrmitte im Rohrmittelpunkt, da die Staubbelastung in einer vertikalen Rohrleitung mit ausgeprägter turbulenter Strömung über dem gesamten Querschnitt gleich ist. Die Versuche wurden mit drei verschiedenen Ringspaltflächen zwischen Abschlußkegel und Zykloninnenwand sowie zwei unterschiedlichen Tauchrohrdurchmessern durchgeführt. Neben dem Staubgehalt in der Abluft sind auch die Luftvolumenströme nach dem Luftstromerzeuger und nach dem Zyklon gemessen worden [7].

Ergebnisse

In den Untersuchungen wurde deutlich, daß das Abscheideverhalten von Zyklonen nur näherungsweise berechnet werden kann. Vor allem wenn auf Zellradschleusen am Zyklonaustrag verzichtet wird, sind Experimente unumgänglich. Das Hauptproblem besteht darin, den Ringspalt zwischen Abschlußkegel und Zykloninnenwand möglichst klein zu halten, damit die Luftströmung nicht in den Silo entweicht. Andererseits muß jedoch

Bild 2: Staubgehalt in der Abluft des Zyklons in Abhängigkeit von der Ringspaltfläche zwischen Abschlußkegel und Zykloninnenwand

Fig. 2: Dust content in the waste air of the cyclone, depending on the ring gap between the cone end and the cyclone inner wall



durch den Ringspalt das gesamte abgeschiedene Gut ausgetragen werden können. Durch die Experimente an der großtechnischen Siloversuchsanlage des ATB konnten diese Probleme gelöst werden. Der Gutaustrag erfolgt bei den ermittelten, optimalen Geometrieparametern störungsfrei; es gibt nur einen geringen Leckluftstrom, der in den Silo gelangt. Der zulässige Staubemissionsgrenzwert von 50 mg/Nm³ wird nach den Erprobungsergebnissen und unter den praxisrelevanten Betriebsbedingungen unterschritten. Eine Nachentstaubung ist im Gegensatz zu vielen ähnlichen Einsatzfällen nicht erforderlich (Bild 2).

Bei einem zu kleinen Ringspalt von 243 cm² wird das Abfließen des Gutes verzögert, so daß bereits abgeschiedenes Gut wieder in die Tauchrohrströmung gelangt und den Staubgehalt im Reingas erhöht. Diese Gefahr besteht bei der größeren Ringspaltfläche von 386 cm² nicht. Jedoch ist hier das Optimum von 312 cm² überschritten, wodurch sich der Leckluftstrom erhöht, und bereits abgeschiedenes Gut wieder aufgewirbelt wird (Bild 2). Eine Verringerung des Tauchrohrdurchmessers von 100 mm auf 80 mm brachte keine Verbesserungen. Es wurde erkennbar, daß es für jede Kombination Tauchrohr – Abschlußkegel ein Optimum gibt.

Schlußfolgerungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß man Zyklonabscheider für das Befüllen von Kraftfuttersilos so optimieren kann, daß die geltenden Staubemissionsgrenzwerte nicht überschritten werden. Zusätzliche filternde Abscheider zur Nachentstaubung sind deshalb nicht wie sonst üblich erforderlich. Bei Verwendung von Abschlußkegeln am Zyklonausgang anstelle von Zellradschleusen müssen jedoch experimentelle Untersuchungen zum Bestimmen der optimalen Anordnung des Abschlußkegels durchgeführt werden.

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] Füll, Ch.: Entmischung in Schüttgutsilos. Aufbereitungs-Technik 33 (1992), H. 7, S. 394-401
- [2] Muschelknautz, E.: Die Berechnung von Zyklonabscheidern für Gase. Chemie-Ing.-Techn. 44 (1972), H. 1+2, S. 63-71
- [3] • Löffler, F.: Staubabscheiden. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1988
- [4] • Fritz, W. und H. Kern: Reinigung von Abgasen. 3. Aufl., Vogel-Buchverlag, Würzburg, 1992
- [5] • Birr, R.: Umweltschutztechnik. 5. Aufl., Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, 1992
- [6] Kranz, U.: Berechnung und Konstruktion eines Zyklonabscheiders für das Befüllen von Futtermittelsilos. Studienarbeit am Inst. für Agrartechn. Bornim, Univ. Rostock, 1996
- [7] Kranz, U.: Untersuchung und Optimierung einer Entstaubungsanlage für Trockenmischfuttersilos. Projektarbeit am Inst. für Agrartechn. Bornim, Univ. Rostock, 1996

Schlüsselwörter

Zyklon, Entstaubung, Staub

Keywords

Cyclone, dust removal, dust

Vorschau

In der August-Ausgabe Ihrer LAND-TECHNIK berichten wir unter anderem über:

- Bildverarbeitung bei der Getreideernte
- Zur Auslegung von Reinigungseinrichtungen beim Mähdröschler
- Erfahrungen mit der Ortung beim Mähdrusch
- Verbesserter Schwingungsschutz von Fahrersitzen
- Düngereinspeisung bei der Direktsaat
- Erste Einsatzverfahren mit automatischen Melksystemen