

Laser-Doppler-Messungen am Apexkegel eines Staubzyklons

Th. Hädrich, H.-J. Erdmann
 SIVUS, Institut an der TU Chemnitz
 Schulstr. 38, 09125 Chemnitz, haedrich@sivus.tu-chemnitz.de

Motivation

Obwohl der Zyklon ein seit über hundert Jahren bekannter Abscheideapparat ist, zeigt das Auseinanderklaffen von Meßdaten und zugehörigen Modellrechnung (z.B. /Hoekstra 1999/), daß er immer noch nicht ausreichend verstanden ist. Dementsprechend sind die experimentellen und numerischen Arbeiten im vollen Gange.

Geschwindigkeitsmessungen mittels Laser-Doppler-Velocimetrie (LDV) wurden z.B. von Kirch et al. /Kirch 1990/ im kegeligen Teil des Zyklons und von Fraser et al. /Fraser 1997/ am Tauchrohrentritt durchgeführt. Umfangreiche Untersuchungen wurden von Gorton-Hülgerth et al. angestellt /Gorton-Hülgerth 1998/. Durch den Zugang mittels einer langen Brennweite über den Zyklondeckel konnten fast im gesamten Zykloninnenraum 3D-Messungen durchgeführt werden, wobei die Schwerpunkte auf der Strömung im Bereich des Deckels und des Tauchrohres lagen.

Auffallend ist das Fehlen von Untersuchungen bezüglich des Austausches zwischen Zyklon und Bunker. Rechnungen in /Frank 1999/ zeigen dort einen regen Partikelaustausch. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diesen Austausch meßtechnisch zu erfassen.

Experimenteller Aufbau

Daten des verwendeten Zyklons:

Zyklonhöhe:	1.460 mm
Außendurchmesser:	440 mm
Tauchrohrdurchmesser:	100 mm
Tauchrohrlänge:	350 mm
Einlauf:	50 • 200 mm ²
Luftvolumenstrom:	0,21 m ³ /s
Druckverlust:	7,0 kPa
Massenstrom Feststoff:	1 mg/s
Feststoff:	Kalkstaub: 0 bis 10 µm, $x_{50,0} = 6,6$ µm

Der Zyklon wurde im Saugbetrieb gefahren. Der Feststoff wurde an der Einlaufdüse aufgegeben und trat nach einer geraden Rohrstrecke von 70 D in den Abscheider ein.

Vorbereitend wurde die Auswirkung der Breite des Spaltes zwischen dem Apexkegel und der Zyklonwand auf die Trennkorngröße des Zyklons gemessen (s. Abb. 1). Für die vorgestellten Messungen wurden die Spaltbreiten von 30 und 10 mm gewählt.

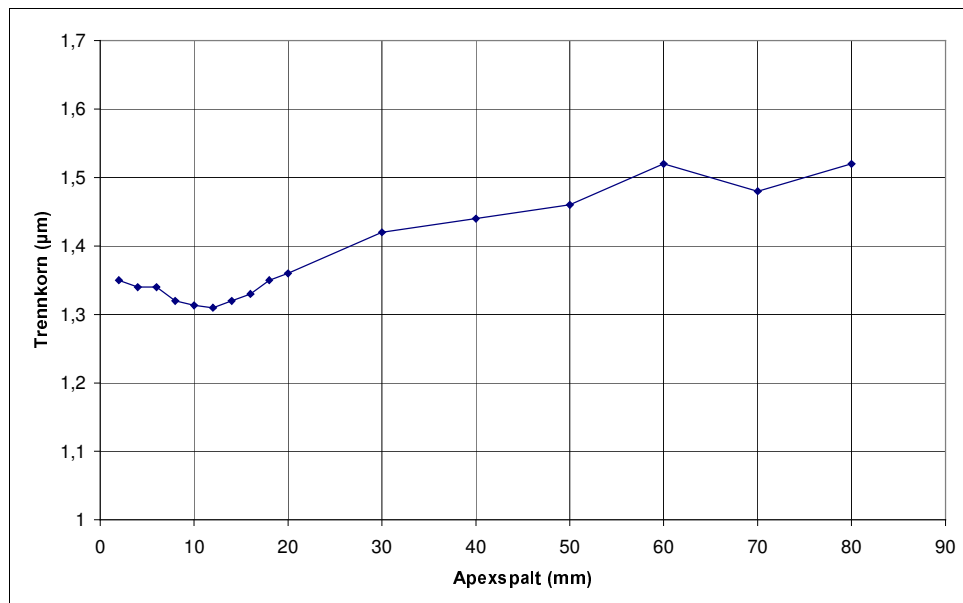


Abb. 1: Trennkorngröße in Abhängigkeit von der Breite des Ringspalt zwischen Abschirmkegel und Bunkereintritt (Apexspalt)

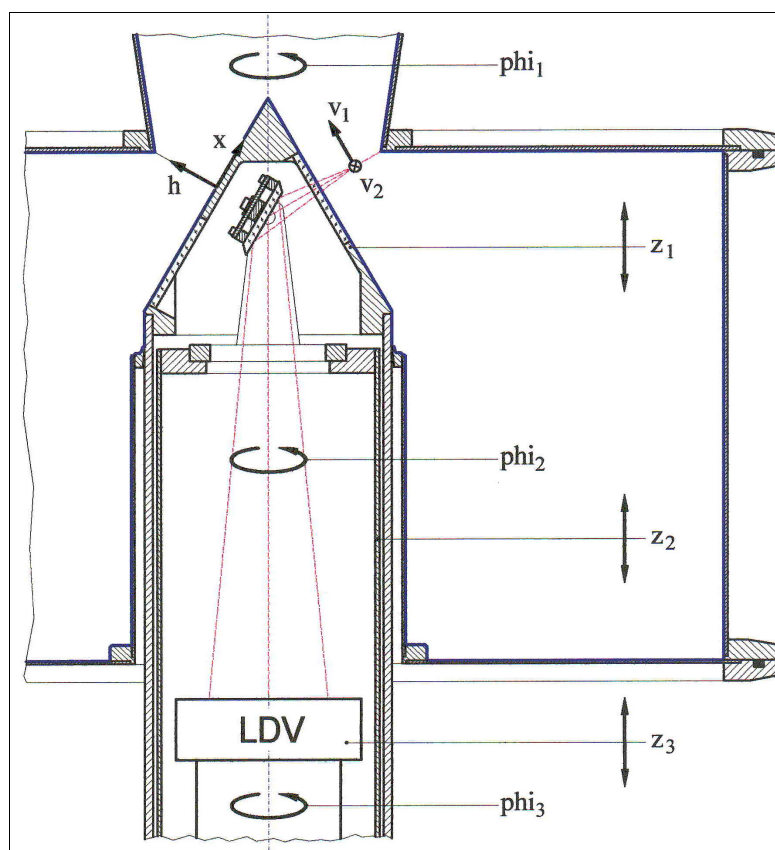


Abb. 2: Positionierung des Laser-Doppler-Velocimeters im Abschirmkegel des Staubzyklons;
 ϕ_1 und z_1 : Bewegung des Abschirmkegels (Einstellung der Spaltbreite),
 ϕ_2 und z_2 : Bewegung des Umlenkspiegels (Meßort x-Koordinate),
 ϕ_3 und z_3 : Bewegung des LDV (Meßort h-Koordinate).

Um den optischen Zugang zum Grobgutaustrag zu schaffen, wurde das LDV im Schaft des Abschirmkegels positioniert und das Meßvolumen mittels eines Spiegels so ausgerichtet, daß eine der meßbaren Geschwindigkeitskomponenten (v_1) parallel zur Mantellinie des Abschirmkegels (Apexkegels) ist (s. Abb. 2). Diese Art des Zuganges erforderte einen relativ spitzen Kegelwinkel von 60° . Der Schaft des Abschirmkegels ist mit einem Lippenring abgedichtet.

Neben der o.g. apikalen Komponente v_1 wurde auch die tangentielle Geschwindigkeitskomponente v_2 gemessen. Verwendet wurde ein 2-LDV FiberFlow 60X63 von Dantec (Laserleistung 250 mW, Meßvolumendurchmesser: $47\ \mu\text{m}$, Länge: $390\ \mu\text{m}$). Die Bandbreite der BSA-Enhanced von 40 MHz ist knapp ausreichend, um die Dynamik der hochturbulenten Strömung einer Meßposition zu erfassen. Beim Wechsel der Meßposition mußte das Frequenzband nachgeführt werden.

Ergebnisse

Die Profile der apikalen Geschwindigkeitskomponente im Spalt zwischen dem Abschirmkegel und dem Bunkereinlaß (Abb. 3) zeigen den Austausch zwischen Zyklon und Bunker. In der Nähe der Zyklonwand ($h = 30\ \text{mm}$) tritt das Fluid in den Bunker ein, an der Oberfläche des Abschirmkegels ($h = 0\ \text{mm}$) strömt es in den Zyklon zurück. Die Profile der tangentialen Geschwindigkeitskomponenten dagegen sind parabelförmig (Abb. 4). Ihr Maximum befindet sich etwa dort, wo die apikalen etwa gleich Null sind.

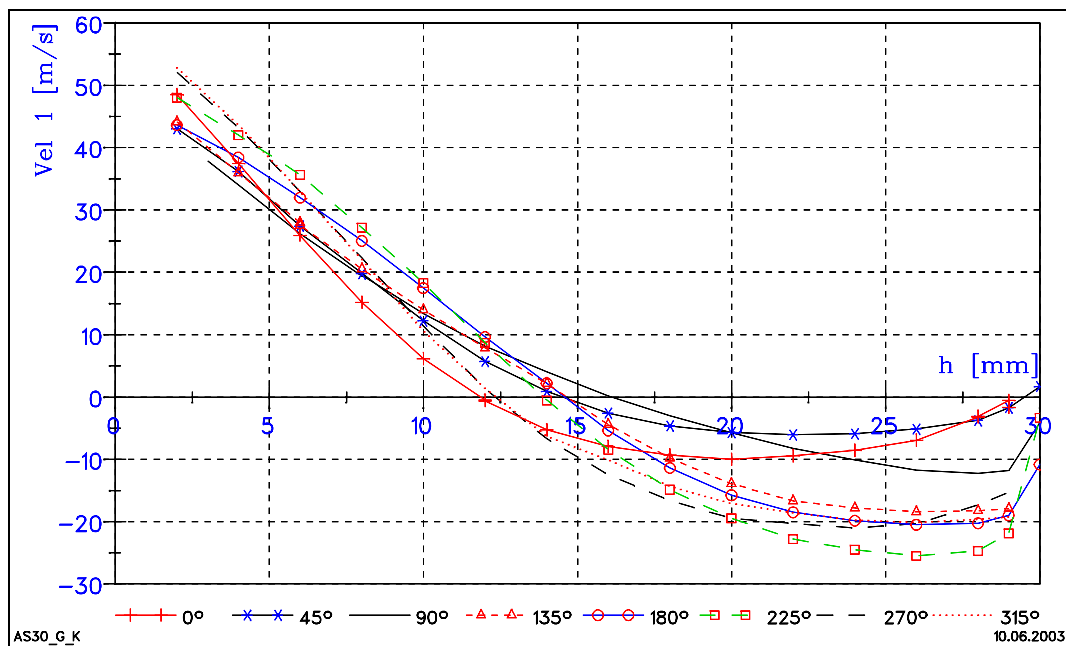


Abb. 3: Profile der apikalen Geschwindigkeiten am 30 mm-Spalt unter verschiedenen Winkeln

Aus den apikalen Profilen wurden die Volumendurchsätze durch den Spalt berechnet (s. Abb. 3). Bei 10 bzw. 30 mm Breite des Apexspaltes strömen 5% bzw. 29% des in den Zyklon einströmenden Gasvolumenstromes auch in den Bunker ein. Die ein- und austretenden Volumenströme weichen um 9% voneinander ab – eine vertretbare Fehlergröße.

Offensichtlich ist die deutliche Rotationsunsymmetrie des in den Bunker einströmenden Volumenstromes. Der ausströmende ist dagegen nahezu konstant. Ursache dieser Unsymme-

trie ist vermutlich das Bestehenbleiben des am Zykloneinlauf eintretenden Gasstromes als Strahl, der sich wendelförmig an der Zyklonwand nach unten bewegt.

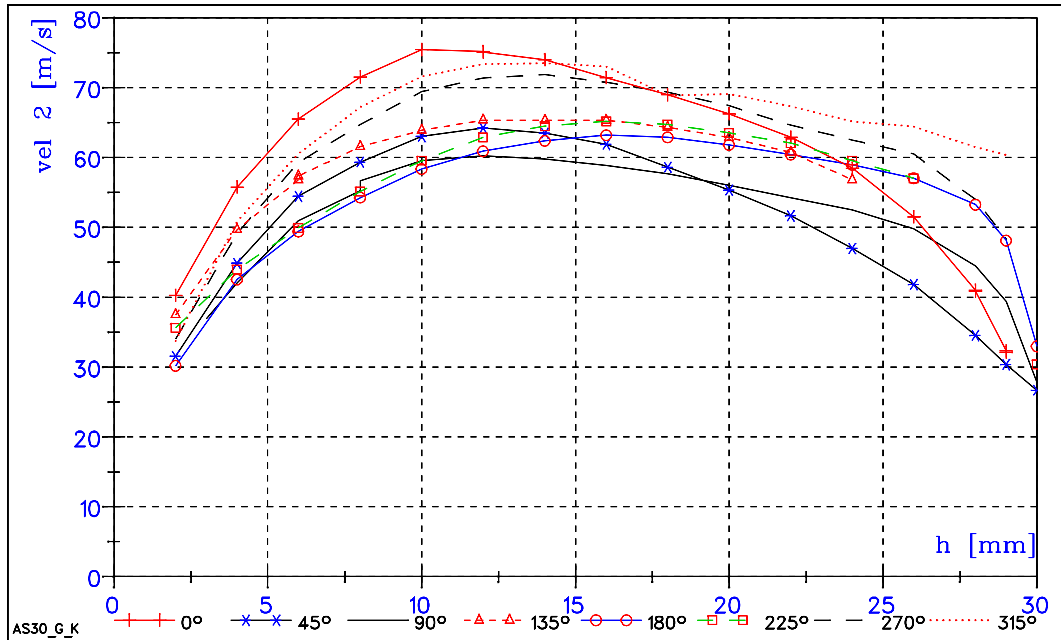


Abb. 4: Profile der tangentialen Geschwindigkeiten am 30 mm-Spalt

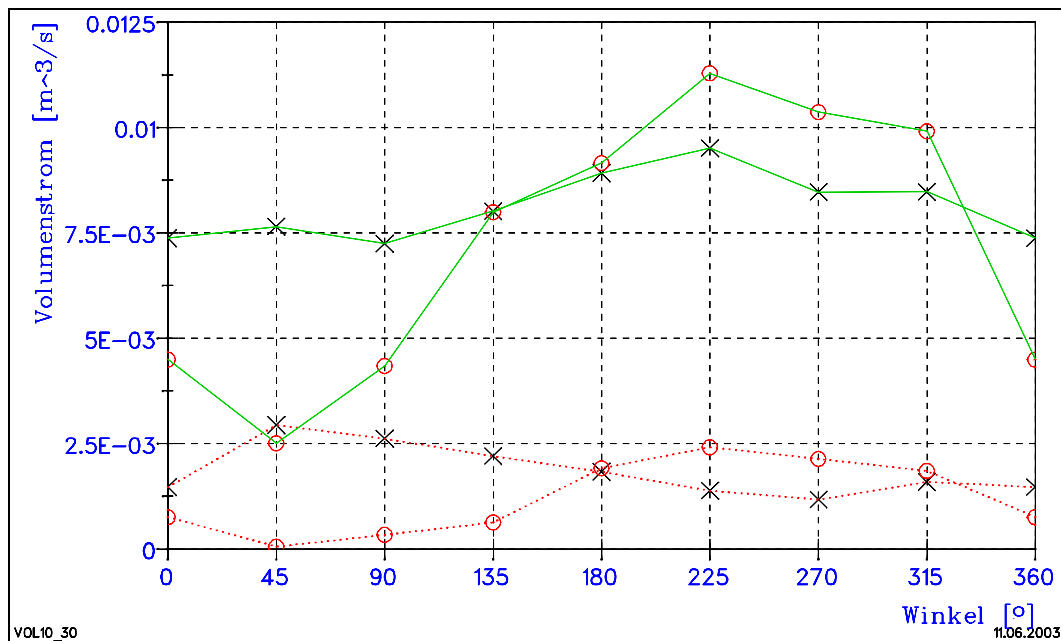


Abb. 5: In den Bunker ein- und austretende Volumenströme;
o – eintretender, x - austretender Volumenstrom;
..... – 10 mm, — - 30 mm Spalt.

An den Winkelpositionen des geringsten und des größten eintretenden Volumenstromes, d.h. bei 45° und 225°, wurden auf einer axial-radial orientierten Fläche die Geschwindigkeiten gemessen. Aufgrund der Ausrichtung des LDV liegt nur die apikale Komponente in dieser Ebene, die tangentielle steht senkrecht dazu, so daß die folgenden Abbildungen nur die zwei-

dimensionale Verteilung der apikalen Komponente darstellen. Die Abb. 6 und Abb. 7 zeigen das Eintreten der an der Zyklonwand abwärts strömenden Luft in den Bunker sowie die Rückströmung am Bunkerdeckel. Abb. 8 stellt die Streuung der apikalen Geschwindigkeitskomponente (rms-Wert) dar. Der Turbulenzgrad der apikalen Komponente beträgt bei 30 mm Spaltbreite ca. 30% am Abschirmkegel und 50 bis 100% nahe der Zyklonwand. Bei 10 mm Spaltbreite sind es ca. 50% bzw. 100 bis 300%.

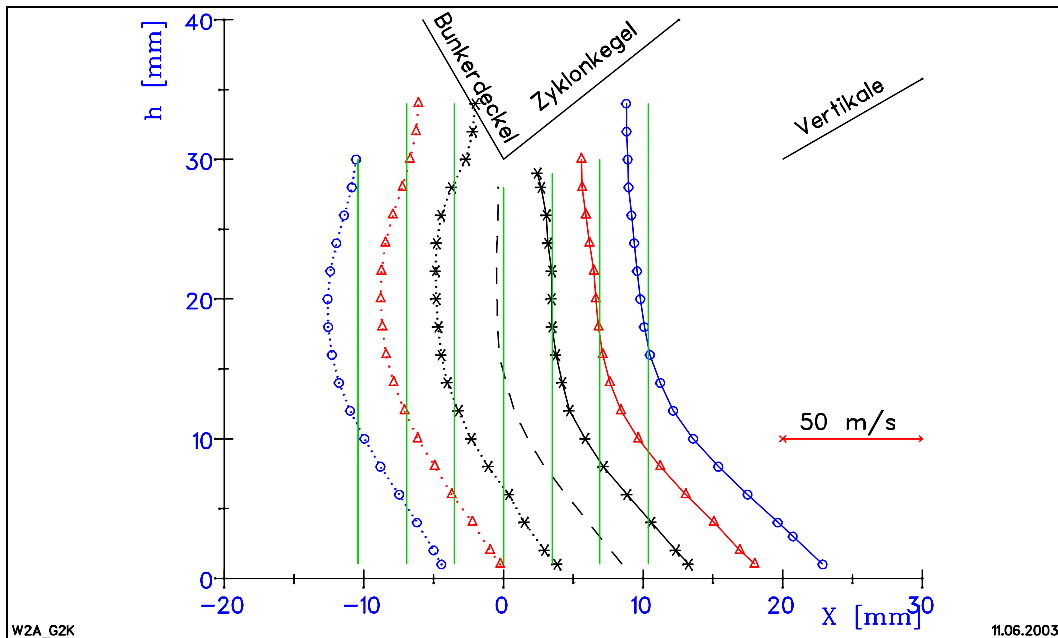


Abb. 6: Profile der apikalen Geschwindigkeitskomponente im Übergang Zyklon – Bunker bei 45° , dem Ort des geringsten eintretenden Volumenstromes (die Geraden bezeichnen die Meßorte und die Nulllinie der Geschwindigkeiten)

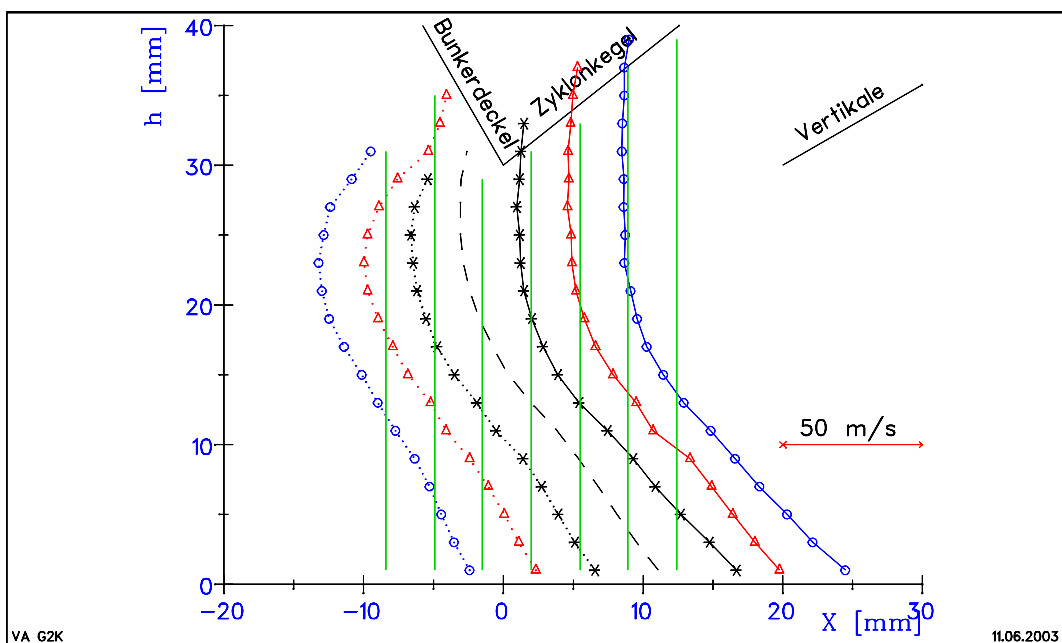


Abb. 7: Profile der apikalen Geschwindigkeitskomponente im Übergang Zyklon – Bunker bei 225° , dem Ort des größten eintretenden Volumenstromes

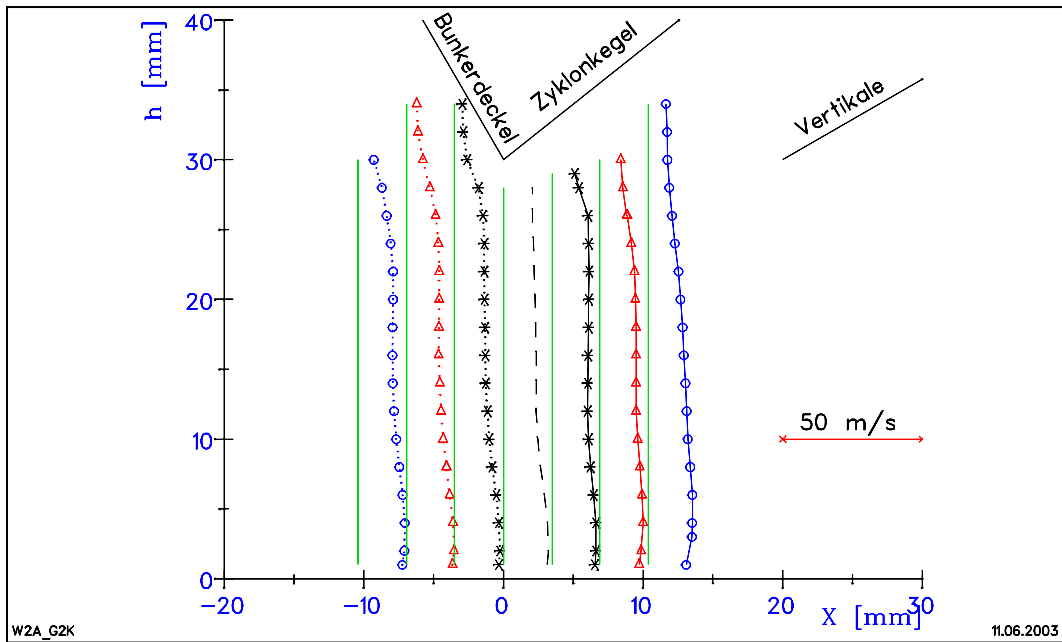


Abb. 8: Profile der Streuungen der apikalen Geschwindigkeitskomponente

Schlußfolgerungen

Zwischen dem Zykloninneren und dem Bunker findet ein erheblicher Gas- und Partikel-austausch statt. Bei 10 bzw. 30 mm Breite des Apexspaltes strömen 5% bzw. 29% des in den Zyklon einströmenden Gasvolumenstromes auch in den Bunker ein. Die Geschwindigkeiten im Spalt sind mit Spitzenwerten von 50 m/s apikal und 70 m/s tangential bei 30 mm Spaltbreite bzw. 18 m/s und 50 m/s bei 10 mm Spaltbreite relativ hoch. Die in den Bunker eintretende Strömung ist hochturbulent, welches neben den hohen Geschwindigkeiten, insbesondere der Rotation der Strömung, zu einer Aufwirbelung der Partikel im Bunker führt. Eine geringe Spaltbreite, im dargelegten Fall von 10 mm, führt aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeit zu einem geringeren Staubaustrag aus dem Bunker und damit zu einer besseren Staubabscheidung des Gesamtsystems. Die Vermutung, daß aufgrund des starken Gasaustausches zwischen Bunker und Zyklon die abzuschheidenden Teilchen mehrfach zwischen Bunker und Zyklon hin- und herwechseln, wird durch Beobachtung einer vom Meßort im Spalt nahezu unabhängigen Datenrate des LDV gestützt.

Die ausgeprägte Unsymmetrie der Strömung im Spalt weist darauf hin, daß bei einer Simulation dieser Vorgänge eine vollständig dreidimensionale Rechnung erforderlich ist.

Danksagung

Diese Forschungsprojekt wurde vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kultur gefördert. Frau C. Mühlhausen danken wir für die sorgfältige Durchführung der Messungen der Fraktionsabscheidegrade.

Literatur

/Frank 1999/

Frank Th., Schneider J., Yu Q., Wassen E.: "Experimental and Numerical Investigation of Particle Separation in a Symmetrical Double Cyclone Separator", ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting, San Francisco, FEDSM99-7865, pp. 1..10 (1999)

/Fraser 1997/

Fraser S.M., Abdullah M.Z.: "Experimental investigation of an improved cyclone dust separator", 7th Int. Conf. Laser Anemometry, Karlsruhe, pp. 133..40 (1997)

/Gorton-Hülgerth 1998/

Gorton-Hülgerth A.: "Messung und Berechnung der Geschwindigkeitsfelder und Partikelbahn im Gaszyklon", Dissertation, TU Graz (1998)

/Hoekstra 1999/

Hoekstra A.J., Derksen J.J., Van Den Akker H.E.A.: "An experimental and numerical study of turbulent swirling flow in gas cyclones", Chemical Engineering Science 54, pp. 2055..65 (1999)

/Kirch 1990/

Kirch R., Schmidt M., Löffler F.: "Untersuchung der Partikelbewegung in einem Gaszyklon unter Berücksichtigung der Turbulenzstruktur", Staub - Reinhaltung der Luft 50, S. 113..8 und S. 151..5 (1990)

/Schmidt 1996/

Schmidt, P.: "Zyklonabscheider bei geringer Beladung – Funktion und Auslegung", VDI Berichte Nr. 1290, S. 23..43 (1996)