

VDI-Gesellschaft Energietechnik  
VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen,  
VDI-Forum "Zyklonabscheider in der Energie- und Verfahrenstechnik"  
Leverkusen, Germany, 27.-28. Oktober 1999.

## Numerische Untersuchungen der Gas-Partikel-Strömung in symmetrischen Doppelzyklon-Abscheidern

Th. Frank\*, J. Schneider\*\*, K. Bernert\*

\* Technische Universität Chemnitz  
Fakultät Maschinenbau und Verfahrenstechnik  
Professur Technische Thermodynamik  
Forschungsgruppe Mehrphasenströmungen  
Reichenhainer Straße 70  
09107 Chemnitz, Germany  
Email : frank@imech.tu-chemnitz.de  
Tel.: +49 (371) 531 46 43  
Fax : +49 (371) 531 46 44

\*\* Fachhochschule Flensburg  
Institut für Verfahrenstechnik  
Professur Mechanische Verfahrenstechnik  
Kanzleistraße 91-93  
24943 Flensburg, Germany  
Tel.: +49 (461) 805 512  
Fax : +49 (461) 805 300

In Prozessen der mechanischen und thermischen Verfahrenstechnik sowie der Energieverfahrenstechnik sind sehr häufig disperse Gas-Feststoff-Strömungen anzutreffen. Neben so typischen Vertretern derartiger verfahrenstechnischer Prozesse wie dem pneumatischen Transport, Verfahren zur Dosierung und zum Mischen von Partikeln sowie zur Klassierung/Partikelgrößenanalyse spielt die Trennung bzw. Abscheidung von Feststoffpartikeln aus Gasen eine ganz entscheidende Rolle in der Energie- und Verfahrenstechnik.

Der Grundgedanke der Fliehkraftabscheidung von Partikeln aus Gasen oder Flüssigkeiten mit Hilfe einer Wirbel-Senken-Strömung, wie sie in sogenannten Zyklonen realisiert wird, ist mehr als 100 Jahre alt. Aber noch heute gilt in übertragenem Sinne, was E. Feifel bereits 1943 schrieb: "Der Zyklon stellt dort, wo nicht mehr von ihm verlangt wird, als er seiner Natur nach leisten kann, eine Vorrichtung zur Gasreinigung von kaum zu übertreffender Einfachheit und Betriebssicherheit dar." In den Jahren seit dieser Feststellung E. Feifels sind vielfältige Anstrengungen unternommen worden, die Grenzen für die Anwendbarkeit von Zyklonen für die Abscheidung von Partikeln aus Gasen durch ein verbessertes Verständnis der Detailvorgänge in diesen Apparaten gefolgt von einer verbesserten Auslegung zunehmend zu erweitern.

Die hier vorgestellten Arbeiten befassen sich mit der numerischen Untersuchung der zur Partikelabscheidung führenden Strömungsvorgänge in sogenannten symmetrischen Doppelzyklonen. Aufbauend auf frühen Arbeiten von Feifel entwickelte Schneider, LUT GmbH eine ganze Reihe leistungsfähiger, symmetrischer Doppelzyklone. Erste experimentelle Untersuchungen der Trennleistung dieser Apparate, die an der FH Flensburg durchgeführt wurden, konnten zeigen, daß mit Hilfe derartiger Zyklone bei den bisher untersuchten Geometrien mit Trennraumdurchmessern von 40, . . . , 230 mm bei Umfangsgeschwindigkeiten im Trennraum von 10, . . . , 25 m/s Werte von 50 bzw. 500 Nanometern für die sogenannte Trennkorngröße  $x_{ae,50}$  (aerodynamischer Partikeldurchmesser) erzielt werden können.

Aufgabe der numerischen Untersuchungen war die detailliertere Betrachtung der Strömungsverhältnisse in den experimentell untersuchten Geometrien von symmetrischen Doppelzyklonen sowie die numerische Berechnung der Trennleistung dieser Apparate. Hierzu wurde ein von Frank und Mitarbeitern entwickeltes numerisches Verfahren eingesetzt, das auf dem Euler-Lagrange- oder PSI-Cell (Particle-source-in-Cell) Verfahren basiert. Die im zeitlichen Mittel stationäre Bewegung der kontinuierlichen Phase wird dabei mit einem nach der Finite-Volumen-Methode abgeleiteten Verfahren zur Lösung der 3-dimensionalen, stationären und zeitlich gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen für eine homogene, inkompressible Fluidströmung berechnet. Die

Modellierung der Fluidturbulenz erfolgt mit Hilfe des Standard- $k$ - $\varepsilon$ -Modells. Die Berechnung der Bewegung der dispersen Phase erfolgt im Rahmen der Modellvorstellung einer verdünnten Gas-Feststoff-Strömung mit Hilfe des Lagrange-Verfahrens. Dabei wird die disperse Phase durch eine Menge von Einzelteilchen repräsentiert, deren Bewegung (Ort, Geschwindigkeit, Rotation) sich aus einem System gewöhnlicher Differentialgleichungen berechnen läßt.

Die für 3 verschiedene Geometrievarianten eines derartigen symmetrischen Doppelzyklons durchgeführten numerischen Simulationen zeigen die wesentlichen Merkmale der Fluidströmung auf, die zur Partikelabscheidung in dem betrachteten Apparat aktiv beitragen. So entsteht in dem symmetrischen Trennraum ein stabiler Primärwirbel, der die radiale Verschiebung der Partikeln zum Trennraummantel hin auf Grund der wirkenden Zentrifugalkräfte bewirkt. Der radiale Druckgradient dieses Primärwirbels induziert wiederum sekundäre Ringwirbel, welche die abzuschneidenden Partikeln auf die Austragsöffnungen zu bewegen, die durch den Trennraummantel und den Abschirmkegel als kreisförmig umlaufende Schlitze gebildet werden. Durch die Austragsöffnungen bewegen sich die abzuschneidenden Partikeln zusammen mit der rezirkulierenden Gasströmung in die Sedimentationsräume hinein. Hier führen eine Reihe von Faktoren zu der angestrebten Partikelabscheidung. Dies sind im einzelnen die in den Sedimentationsräumen stark herabgesetzten Strömungsgeschwindigkeiten, die hohen Partikelverweilzeiten im Sedimentationsraum, die wiederum zu einer gegenüber der zugeführten Gas-Feststoff-Strömung erhöhten, lokalen Feststoffkonzentration führen. Diese erhöhte Feststoffkonzentration begünstigt (neben der konstruktiven Gestaltung der Sedimentationsräume und des Abschirmkegels) wiederum die Agglomeration der Feststoffpartikeln und deren Anhaftung an den Wänden des Sedimentationsraumes und somit deren Abscheidung.

Im Vergleich der numerisch berechneten Abscheideleistung der untersuchten symmetrischen Doppelzyklone mit den von Schneider et al. experimentell ermittelten Partikeltrenngraden konnte eine weitgehende Übereinstimmung erzielt werden. Die seitens der numerischen Simulation noch bestehenden Abweichungen von den experimentellen Ergebnissen mit der Tendenz von zu größeren Partikeldurchmessern hin verschobenen Trennkorngrößen  $x_{50}$  lassen sich im wesentlichen auf zwei Einflußfaktoren zurückführen:

1. Zum einen ist die Fluidströmung in den untersuchten symmetrischen Doppelzyklonen außerordentlich komplex und es kann nicht davon ausgegangen werden, daß die Strömung in der numerischen Simulation in all ihren Details quantitativ richtig wiedergespiegelt werden kann. Insbesondere durch die teilweise problematische Erzeugung eines zufriedenstellenden, numerischen Gitternetzes und die Verwendung des Standard- $k$ - $\varepsilon$ -Turbulenzmodells können quantitative Fehler in der Strömungsberechnung auftreten.
2. Zum anderen gestattet das verwendete Lagrange-Verfahren zur Partikelberechnung momentan keine Berücksichtigung der Partikelagglomerationsprozesse im Zyklotrennraum und insbesondere in den Sedimentationsräumen in Abhängigkeit von der lokalen Partikelkonzentration. Dies erscheint jedoch nach den bisherigen Ergebnissen von besonderer Bedeutung für die korrekte numerische Berechnung der Partikelabscheidung in Zyklonabscheidern.