## Numerische Simulation der Partikelabscheidung in Fliehkraftabscheidern

## Th. Frank, E. Wassen TU Chemnitz, Fakultät MB/VT, FG Mehrphasenströmungen D-09107 Chemnitz

Disperse Gas-Feststoff-Strömungen sind in Prozessen der mechanischen und thermischen Verfahrenstechnik sowie der Energieverfahrenstechnik häufig anzutreffen. Typische Vertreter derartiger verfahrenstechnischer Prozesse sind z.B. der pneumatische Transport, die Trenn- und Klassierverfahren oder die Kohlestaubverbrennung mit ihren vor- und nachgeschalteten Nebenprozessen zur Kohleaufbereitung und Rauchgasreinigung. Eine dabei häufig zu lösende Aufgabe ist die Abscheidung der Feststoffpartikeln aus einer Gasströmung. Hierfür wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl von Verfahren entwickelt, von denen die große Klasse der Fliehkraftabscheider für den Verfahrenstechniker auf Grund des einfachen Aufbaus und der wartungsarmen Betriebsweise von besonderem Interesse ist.

Die Strömungsverhältnisse und die Partikelabscheidung in Fliehkraftabscheidern in Form von Gasund Hydrozyklonen unterschiedlicher Bauformen, Multizyklonen und Zyklonbatterien, etc. sind in einer Vielzahl von Arbeiten analytisch und experimentell untersucht worden. Die Anzahl der wissenschaftlichen Arbeiten, in denen der Versuch einer detaillierten Aufklärung der zur Partikelabscheidung führenden Strömungsverhältnisse in Fliehkraftabscheidern mit modernen Methoden der numerischen Strömungsmechanik unternommen wird, ist jedoch vergleichsweise gering.

Im vorliegenden Beitrag wird ein Verfahren zur numerischen Simulation disperser Gas-Feststoff-Strömungen, das von Th. Frank und Mitarbeitern in der Forschungsgruppe Mehrphasenströmungen an der TU Chemnitz entwickelt wurde, zur Analyse der Strömungsverhältnisse in einem Standardzyklon und in einem symmetrischen Doppelzyklon angewandt. Das hier vorgestellte numerische Verfahren basiert auf dem Euler-Lagrange-Verfahren. Die Bewegung der kontinuierlichen Phase wird dabei mit einer modifizerten Variante des von M. Perić und Z. Lilek an der Universität Hamburg entwickelten Navier-Stokes-Solvers FAN-3D berechnet. Dabei handelt es sich um ein nach der Finite-Volumen-Methode abgeleitetes Verfahren zur Lösung der 3-dimensionalen, stationären und zeitlich gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen für eine homogene, inkompressible Fluidströmung. Um die notwendige geometrische Flexibilität bei der 3-dimensionalen Vernetzung der Strömungsgeometrie zu erreichen, basiert das Verfahren auf blockstrukturierten, nicht-orthogonalen, krummlinigen, numerischen Gitternetzen. Die Modellierung der Fluidturbulenz erfolgt mit Hilfe des Standard-k- $\varepsilon$ -Modells.

Die Berechnung der Bewegung der dispersen Phase erfolgt im Rahmen des Lagrange-Verfahrens durch den von den Autoren entwickelten Lagrange-Löser PartFlow. Dabei wird die disperse Phase durch eine Menge von Einzelteilchen repräsentiert, deren Bewegung (Ort, Geschwindigkeit, Rotation) sich aus einem System gewöhnlicher Differentialgleichungen berechnen läßt. Der Einfluß der Fluidturbulenz auf die Bewegung der dispersen Phase findet in der Verwendung eines geeigneten Partikeldispersionsmodells (Konzept der diskreten Wirbel/Lagrangian Stochastic-Deterministic Turbulence Model nach Milojević und Schönung) seine Berücksichtigung. Für den Fall der Gas-Feststoff-Strömungen in den untersuchten Fliehkraftabscheidern wurde von einer verdünnten Strömung mit nur geringer Feststoffbeladung ausgegangen, so daß die Rückwirkung der Partikelbewegung auf das Gasströmungsfeld vernachlässigt wurde.

In dem Beitrag werden neben den grundlegenden Konzepten des numerischen Verfahrens zwei Anwendungsfälle exemplarisch vorgestellt. Das 3-dimensionale Berechnungsverfahren FAN-3D/PartFlow wurde zunächst auf eine Gas-Feststoff-Strömung in einem Standardzyklon angewandt (Abb. 2). Dabei handelte es sich in Bezug auf die untersuchten Strömungsgeometrien und die gewählten Betriebsparameter um die von C. König in ihrer Dissertation experimentell untersuchte Serie von Standardzyklonen Z10, ..., Z80, die geometrisch im Verhältnis 1 : 2 : 4 : 8 skaliert wurden. Grundlage der numerischen Strömungsberechnung bildete ein für die Zyklongeometrie konstruiertes numerisches Gitternetz mit 42 Gitterblöcken und insgesamt mehr als 250.000 Gitterzellen. In Folge wurden für verschiedene Gaseinströmgeschwindigkeiten  $u_F = 3.8 m/s, \ldots, 24.0 m/s$  die Strömungsfelder in den Standardzyklonen berechnet. Auf dieser Grundlage konnten durch die Auswertung von jeweils mehr als 10.000 numerisch berechneten Partikeltrajektorien aus 20 Partikelgrößenklassen Aussagen über das Abscheideverhalten für den von C. König verwendeten



Abbildung 1: Vergleich der Partikeltrenngrade für den Zyklon Z20 und Gaseinströmgeschwindigkeiten  $u_F = 4.3 \ m/s$  und 10 m/s.

Quartzteststaub gewonnen werden. Der Vergleich der experimentell und numerisch ermittelten Partikeltrenngrade (Abb. 1) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung, wobei auch die Tendenz zu einer verbesserten Partikelabscheidung bei höheren Gaseintrittsgeschwindigkeiten in den numerischen Simulationen richtig wiedergespiegelt wird.

In einer zweiten Untersuchung wurde das numerische Verfahren auf die Strömung in einem symmetrischen Doppelzyklon der LUT GmbH, Eckernförde angewandt. Hierbei wurde der Bereich des Abschirmkegels und des Staubbunkers mit in die numerische Simulation einbezogen. Die komplexe Strömungsgeometrie führte zu sehr aufwendig zu konstruierenden numerischen Gitternetzen mit über 80 Gitterblöcken und ca. 300.000 Gitterzellen (Abb. 3) und zu einem erheblichen Rechenaufwand in den anschließenden Strömungsberechnungen. Die für den symmetrischen Doppelzyklon für eine Gaseintrittsgeschwindigkeit von  $u_F = 25.0 m/s$  berechnete Gasströmung zeigt alle auf der Grundlage experimenteller Untersuchungen bekannten qualitativen Strömungsmerkmale wie den starken Primärwirbel in der konischen Zyklonkammer, die Rezirkulationsströmungen am Abschirmkegel und im Staubbunker und die Rückströmung entlang des Tauchrohres zum Tauchrohreintrittsquerschnitt. Die aus den Partikeltrajektorienberechnungen (Abb. 3) gewonnenen Partikeltrenngradverläufe weisen jedoch im Unterschied zu den Untersuchungen am Standardzyklon noch deutliche Unterschiede zu den von J. Schneider an der FH Flensburg gewonnenen experimentellen Ergebnissen auf. Ursachen hierfür werden in den folgenden Einflußfaktoren im numerischen Berechnungsverfahren gesehen :

- Die quantitativ richtige Berechnung der turbulenten Gasströmung ist sehr stark von dem eingesetzten Turbulenzmodell abhängig. Für das hier verwendete Standard-k-ε-Modell ist jedoch bekannt, daß es bei seiner Anwendung auf stark anisotrope Strömungen zu größeren Fehlern in den numerisch berechneten Strömungsfeldern kommen kann. Die Verwendung eines Reynoldsspannungs-Turbulenzmodells kann hier zu zufriedenstellenderen Ergebnissen führen.
- Der Vorgang der Partikelagglomeration wird von dem verwendeten Lagrange-Verfahren momentan nicht erfaßt. Der Einsatz modifizierter Partikel-Partikel-Stoßmodelle kann hier zu einer realistischeren Simulation der Partikelabscheidung in Zyklonen beitragen.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, daß trotz der in der zweiten Untersuchung zu Tage getretenen Unsicherheiten die numerische Simulation derart komplexer Strömungen, wie sie in den untersuchten Fliehkraftabscheidern vorliegen, einen wertvollen Beitrag zu deren detaillierter Untersuchung und zur fortschreitenden Optimierung derartiger verfahrenstechnischer Apparate und Anlagen leisten kann. So reicht die Palette der numerischen Untersuchugsmöglichkeiten von der Variation verschiedener Betriebsparameter bis hin zu Untersuchungen des Einflusses von Variationen in der Strömungsgeometrie auf das angestrebte Prozeßergebnis. Die in den letzten Jahren stark verbesserten CFD-Verfahren und die zunehmende Verfügbarkeit hoher Rechenleistungen unterstützen diese Entwicklung.



Abbildung 2: Geometrieparameter und Partikeltrajektorien für den Standardzyklon Z10,  $u_F = 10 \ m/s, \ d_P = 1, \dots, 5 \ \mu m.$ 

eltra- Abbildung 4: Berechnete Partikeltrajektorien im Z10, symmetrischen Doppelzyklon.