

ARBEITSGRUPPE FÜR MEHRPHASENSTRÖMUNG

Partikelabscheidung mit Agglomeration

Förderkennzeichen

-

Projekttitle

Berechnung der Partikelabscheidung mit dem Euler/Lagrange-Verfahren unter Berücksichtigung der Partikelagglomeration

Projektleiter

> (mailto:martin.sommerfeld@ovgu.de) Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Sommerfeld

Bearbeiter

Dipl.-Ing. C. A. Ho

Schlagwörter

Agglomeration, turbulente Zweiphasen-Strömung, Mathematische Modellierung

Problemstellung

Die Agglomeration von Partikeln in einer turbulenten Gasströmung ist für eine Reihe von Prozessen in der Verfahrenstechnik von großer Bedeutung, wie zum Beispiel bei der Herstellung von Partikeln durch eine Gasphasenreaktion (Katzner und Schmidt, 1998). Aber auch im Bereich der Staubabscheidung ist die Partikelagglomeration ein gewünschter Prozeß, da sich dadurch feine Partikel an größere anlagern bzw. miteinander größere Partikel bilden. Die Bedeutung der Agglomeration von Partikeln für die Abscheideleistung von Zyklonen wurde von Mothes (1982) analysiert. Weiterhin wird auch die gezielte Agglomeration durch Ultraschall (Silc und Tuma, 1994) oder elektrische Felder (Gutsch, 1995) eingesetzt, um eine Partikelvergrößerung und damit bessere Abscheidung zu erwirken. Die Agglomeration von Partikeln ist die Folge von zwei physikalisch unabhängigen Vorgängen nämlich der Kollision von Partikeln (die sogenannte Kollisionskinetik) und dem Aneinanderhaften der Partikel. Die Kollision von Partikeln wird maßgeblich durch deren relative Bewegung in der Strömung induziert, die wiederum verschiedene Ursachen haben kann (Pearson et al. 1984, Gutsch 1995). Bei der kinematischen Agglomeration ergibt sich die Relativbewegung durch die verschiedenen Sinkgeschwindigkeiten unterschiedlich großer Partikel. Die turbulente Agglomeration wird durch die Schwankungsbewegung der Partikel in einer turbulenten Strömung bewirkt, woraus eine mittlere Relativgeschwindigkeit resultiert (Sommerfeld 1999). Die thermische Agglomeration wird bei Feinstpartikeln von Bedeutung und beruht auf der Brownschen Bewegung der Partikel. Eine zusammenfassende Darstellung theoretisch hergeleiteter Beziehungen für die Kollisionsraten, welche aus den oben genannten Effekten resultieren, ist in der Arbeit von Pearson et al. (1984) zu finden. In zunehmendem Maße werden heute numerische Berechnungsverfahren eingesetzt, um verfahrenstechnische Apparate auszulegen oder zu optimieren. Dies erfordert allerdings die Modellierung aller relevanten Mikroprozesse, um integrale Eigenschaften des Apparates, wie z. B. die Trenngradkurve, zuverlässig vorhersagen zu können. Bisherige Berechnungen, z. B. zur Partikelabscheidung in Zyklonen, wurden mit relativ groben Annahmen durchgeführt (Cristea et al. 1996, Frank et al. 1998). Partikelagglomeration wurde bisher in keiner der bekannten Arbeiten berücksichtigt.

Projektbeschreibung

Im Rahmen des Projektes soll ein Partikel-Agglomerationsmodell entwickelt und in ein numerisches Berechnungsprogramm, welches auf dem Euler/Lagrange-Verfahren (Sommerfeld, 1996) basiert, implementiert werden. Bei diesem Verfahren wird die Fluidströmung auf der Basis der Reynoldsgemittelten Navier-Stokes Gleichungen in Verbindung mit einem geeigneten Turbulenzmodell berechnet. Die disperse Phase wird durch die Verfolgung einer Vielzahl von Partikeln unter Berücksichtigung der auf sie wirkenden Kräfte berechnet. Andere physikalische Effekte, wie z. B. Wandkollisionen (Sommerfeld und Huber, 1999), müssen durch zusätzliche Modellansätze beschrieben werden. Die Modellierung der Partikelagglomeration beinhaltet die beider

Teilphänomene Partikelkollision und Partikelhaftung. Die Partikelkollision soll auf der Basis des von Sommerfeld (1999) entwickelten stochastischen Kollisionsmodells beschrieben werden. Dieses Modell berücksichtigt eine mögliche Korrelation der Geschwindigkeiten kollidierender Partikel in turbulenten Strömungen. Anhand der Kollisionswahrscheinlichkeit, die sich aus den Partikelgrößen, der Partikelkonzentration und der Relativgeschwindigkeit ergibt, wird entschieden, ob eine Kollision stattfindet. Betrachtet man die Kollision von sehr feinen Partikeln mit deutlich größeren, so kann die Auftreffwahrscheinlichkeit beträchtlich reduziert werden (Mothes 1982). Dieser Effekt soll anhand der Auftreffwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Trägheitsparameters berücksichtigt werden. Für den Auftreffgrad als Funktion des Trägheitsparameters sollen zunächst aus der Literatur bekannte Beziehungen verwendet werden (z.B. Michael und Norey 1969). Schließlich muß bei der Modellierung der Agglomeration noch überprüft werden, ob die Haftkräfte groß genug sind, damit ein Agglomerat aus zwei Partikeln entsteht. Anhand einer Energiebilanz kann die kritische Auftreffgeschwindigkeit ermittelt werden, oberhalb der die Partikel voneinander abprallen (Mothes 1982). Liegt die momentane Relativgeschwindigkeit unter diesem Wert, findet Agglomeration statt. Für die weitere Berechnung dieses Agglomerats wird für die Partikelgröße der Durchmesser einer volumengleichen Kugel, bestehend aus den Volumina der beiden Primärpartikel, verwendet. Prallt das kleine Partikel allerdings ab, wird deren neue Geschwindigkeit durch die Lösung der Impulsgleichungen in Verbindung mit dem Coulombschen Reibungsgesetz berechnet. Die Validierung des Modells soll zunächst anhand bekannter theoretischer Beziehungen für einfache Strömungsbedingungen erfolgen (Pearson et al 1984). Für komplexere Strömungsbedingungen existieren keine experimentellen Daten, bei denen Agglomerationseffekte analysiert wurden. Daher soll ein einfaches Freistrahlexperiment durchgeführt werden, um die weitergehende Validierung des Modells zu ermöglichen. Um die Partikel-Agglomeration in einer turbulenten Strömung gezielt herbeizuführen, wird ein partikelbeladener Freistrah in eine Rohrströmung, welche mit feineren Partikeln beladen ist, eingeblasen. Zur Realisierung möglichst hoher Kollisionsraten zwischen den Partikeln soll die Geschwindigkeit im Rohr deutlich geringer sein. Profile der Partikelgeschwindigkeiten werden mit einem Laser-Doppler Anemometer gemessen. Für die Bestimmung der Partikelgrößenverteilungen entlang des Strahls soll ein Streulichtverfahren eingesetzt werden, welches die Größenmessung von nichtsphärischen Partikeln erlaubt. Damit das Modell für einen möglichst breiten Anwendungsbereich validiert werden kann, soll bei den Experimenten folgende Parameter variiert werden:

- ▶ Feststoffkonzentration im Freistrah und in der Außenströmung,
- ▶ Partikelgröße und Hafteigenschaften der Partikel,
- ▶ Geschwindigkeitsverhältnis von Freistrah und Außenströmung.

In der Endphase des Projektes soll das entwickelte Agglomerationsmodell für die Berechnung der Partikelabscheidung in einem Zyklon eingesetzt werden (siehe Abb. 1 und Abb. 2), um die Bedeutung dieses Effektes für die Abscheideleistung zu analysieren. Die Berechnungen sind mit in der Literatur verfügbaren experimentellen Daten (König, 1990) zu vergleichen.

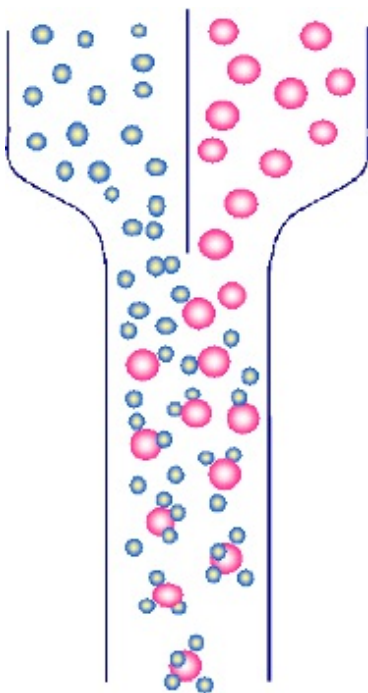


Bild 1: Agglomeration

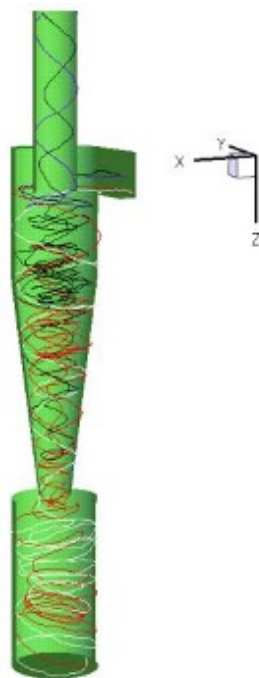


Bild 2: Trajektorien im Sprühdorn

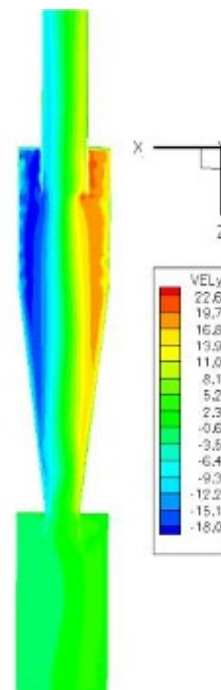


Bild 3: Geschwindigkeitsprofil