

Berechnungsmethoden in der Diskussion

Geringe Beladung

Die Staub- bzw. Tropfen-Abscheidung aus Gasen in Zyklonen ist als trägheitsbestimmter Prozeß für den Bereich geringer Beladung – **also für geringe Konzentrationen des Aufgabegutes** – physikalisch gut verstanden und in Form von technischen Rechenmodellen verfügbar. Ein wesentliches Kennzeichen für den Abscheideprozess ist in diesem Bereich geringer Beladungen die (noch) **vernachlässigbare Wechselwirkung** der im Trägermedium verteilten Partikel. Eine sehr gute Darstellung der Physik dieses Abscheideprozesses ist von Bürkholz [1] gegeben. Letztlich führt diese Theorie auf empirisch ermittelte und damit auch für die technische Anwendung hinreichend verlässliche sogenannte Fraktionsabscheidegradkurven, die in Abhängigkeit einer dimensionslosen Kennzahl für das Gesamtsystem Zyklon-Gas-Partikel für jede Partikelgrößenklasse den zu erwartenden Abscheidegrad zu liefern vermag. Auch die Ausführungen von Muschelknautz [2] bauen im Grundsatz auf dieser Theorie auf.

Hohe Beladung

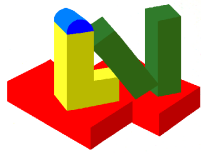
Mit wachsender Beladung – also für **höhere Konzentrationen** des Aufgabegutes – kommt mehr und mehr die **gegenseitige Wechselwirkung der Partikel** ins physikalische Spiel. Diese **Wechselwirkung** wird jedoch durch die bisher bekannt gewordenen Abscheidungstheorien nicht konsistent im Sinne einer physikalischen Theorie erfasst.

Vielmehr handelt es sich um noch grobe empirische Modellannahmen oder um mehr oder weniger kompliziert aufgebaute empirisch gewonnene Korrelationen. Das Fehlen einer konsequenten physikalischen Theorie macht sich ganz klar durch gewichtige Unsicherheiten bei der Auslegung von Zyklonen bei hohen Beladungen und auch bei der Auslegung von Zyklonen für flüssige Trägermedien (Hydrozyklone) bemerkbar. Die praktische Anwendung des in [2] angegebenen "Grenzbeladungs-Modells" deutet auf eine deutliche rechnerische Überschätzung der real erreichbaren Abscheidegrade hin.

Die Zweiphasenströmung

Eine realistischere Berechnung der Abscheideprozesse im Zyklon müsste auf einer bisher **noch nicht verfügbaren** physikalischen Beschreibung des Trägermedium-Partikel-Gemisches als **Zweiphasenströmung** aufbauen. Bereits einfache Beobachtungen an vergleichbaren Systemen wie z.B. an ausreichend hohen Wasserfällen in der Natur, lehren, dass die Zweiphasenströmung zur Ausbildung sehr starker Inhomogenitäten neigt. Es gibt dann große räumliche Bereiche, die in der Hauptsache nur vom eingebrachten (oder im Wasserfall erst entstandenen) Feingut in relativ niedrigen Konzentrationen beaufschlagt sind, während die Hauptmasse der Partikel sich lokal in dichten "Partikel-Schwärmen" konzentriert. Innerhalb dieser Schwärme liegt die "Beladung" weit oberhalb der "mittleren Beladung". Dabei fällt auf, dass auch innerhalb eines solchen Schwarms die Dichteverteilung inhomogen ist; sie fällt vom meist sehr dichten Kopfbereich zum Bereich der Nachlaufströmung des Gesamtgebildes hin sehr stark ab, so dass der "Kopf" gewissermaßen eine Fahne von Feingut nachzieht. Daher hat ein derart ausgebildeter Schwarm die Eigenschaft, einen relativ großen **Anteil** des insgesamt vorhandenen Feingutes mitzureißen, um dann bei seiner Abscheidung an einer Wand **wiederum nur einen Teil** des mitgenommenen Feingutes zusammen mit den gröberen Fraktionen "zu begraben".

Der grundlegende Mechanismus der Schwarmbildung beruht auf der "Schleppwirkung" im Nachlauf von großen Partikeln bzw. vor allem von mehr oder weniger zufällig entstandenen lokalen Konzentrationsschwankungen, die sich als lokale Partikelanhäufungen bemerkbar machen. Im aufgeprägten Beschleunigungsfeld (Fliehkraft und Gravitation) "fallen" große Partikel bzw. die lokalen Partikelanhäufungen schneller als kleine Partikel.



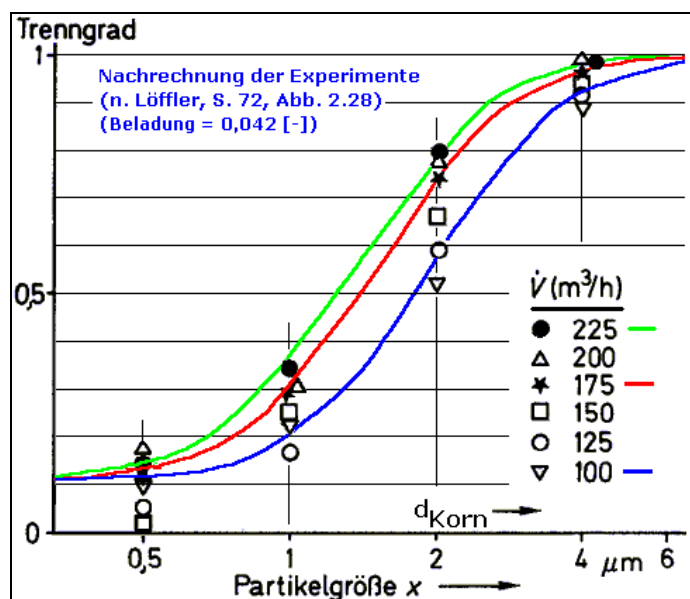
In ihrer Nachlaufströmung – in ihrem Windschatten – "fallen" auch die kleineren Partikel schneller, was in der Überlagerung der Einzeleffekte letztlich durch "Selbstverstärkung" zur raschen Ausbildung der Konzentrations-Inhomogenitäten führt. Der zuletzt voll ausgebildete Schwarm in seiner Gesamtheit mit seiner im Mittel wesentlich erhöhten Dichte hat im Beschleunigungsfeld auch im Vergleich zu isoliert sich bewegenden großen Einzelpartikeln eine insgesamt stark erhöhte "Fallgeschwindigkeit", wodurch die zu beobachtende Erhöhung der Abscheidewirkung bei hohen Beladungen zustande kommt. **Die Zweiphasenströmung weist also hinsichtlich der Partikelverteilung bei wachsender Konzentration eine überproportional ansteigende Instabilität auf, welche der Abscheidewirkung förderlich ist.**

Das von Muschelknautz in [2] angegebene Grenzbeladungsmodell versucht in der Tat diesem hier beschriebenen physikalischen Prozess nahezukommen; die gewählte Modellierung erlaubt aber wegen des Fehlens einer grundlegenden physikalischen Theorie keinerlei Extrapolationen über die Grenzen der durch Experimente abgesicherten Basisdaten hinaus. Da diese Gültigkeitsgrenzen der experimentellen Basisdaten nicht in [2] angegeben sind, können bei der Anwendung der Modellierung nach [2] erfahrungsgemäß **erhebliche Auslegungsfehler** entstehen.

Im übrigen wird die beschriebene Schwarmbildung im Zyklon ganz wesentlich auch von den **Einlaufbedingungen** in den eigentlichen Zyklon beeinflusst, weil bereits im Zuströmungskanal starke Inhomogenitätseffekte wirksam sind. Auch macht die obige qualitative Beschreibung der physikalischen Prozesse der Schwarmbildung deutlich, dass es von mehreren Einflussfaktoren bei ausgeführten Zyklonen abhängig sein muss, welche Abscheidewirkung sich für den eigentlichen Feinanteil des Aufgabegutes im Gesamtergebnis einstellt.

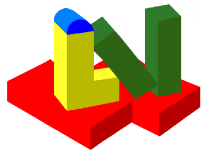
Es ist bislang keine Theorie bekannt, die dazu belastbare quantitative Vorhersagen liefern könnte. Daher ist es keine Überraschung, dass bei der Auslegung von Zyklonen allgemein eine signifikante Unsicherheit über den im Einzelfall zu erwartenden Abscheidegrad, besonders auch der Fein- und Feinstanteile besteht.

Das modifizierte Modell



Um hier einen praxistauglichen Ausweg zu finden, haben wir die in [2] vorgelegte Grenzbeladungshypothese modifiziert, um wenigstens im tendenziellen Verhalten eine physikalische Grundlage zu schaffen. Hierzu haben wir eine Fraktionsabscheidungskurve für den Grenzbeladungsprozess definiert, die mit der Aufgabegut-Beladung variabel ist. Als charakteristische Bezugsgröße wird auf die Grenzpartikelgröße nach [2] zurückgegriffen. Diese neue Vorgehensweise kann den in Experimenten – allerdings bedauerlicherweise nur für niedrige Beladungen – ermittelten Abscheidungsprozess gut wiedergeben (vgl. Abbildung).

Bei hohen Beladungen macht sich bei unserem Modell der zunehmende Reibungseinfluss auf den Abscheidegrad deutlich bemerkbar, indem er richtigerweise eine gewisse Absenkung des Trenngrades bewirkt.



Dagegen besteht nach [2] die Tendenz, mit zunehmender Beladung immer einen Wert von 99,9 [%] für den Abscheidegrad zu erreichen und schließlich sogar zu überschreiten. Trotzdem kann auch dieser neue Ansatz nicht die notwendige und für hohe Beladungen fehlende physikalische Theorie wirklich ersetzen.

Zusätzlich erlaubt es unsere Methode, die Abscheideberechnungen auch bei Vorgabe von Gleichkorn oder von solchen Kornverteilungen ("Siebkurven") für hohe Beladungen durchzuführen, welche nicht sinnvoll durch RRS-Verteilungen darstellbar sind.

Zusammenfassung

Festzuhalten bleibt in jedem Fall, dass generell die Berechnung der Abscheideprozesse in Zyklonen in bezug auf hohe Beladungen noch immer auf deutlich unsicheren physikalischen Annahmen beruht.

Letztendlich war es unser Bestreben, dem Benutzer eine praxisgerechte Abschätzung des Abscheidegrades zu verschaffen und ihm dabei zusätzlich einen direkten Vergleich zwischen den Ergebnissen mit den Methoden nach dem VDI Wärmeatlas Kapitel LCD und unserer neu hereingebrachten Modifikation zu ermöglichen. Wir hoffen dabei auch auf einen gewissen Rückfluss an Erfahrungswerten, um in näherer Zukunft gegebenenfalls unsere Methode weiter zu verfeinern. **Unser Bestreben ist, dem Benutzer unseres Rechenprogramms eine möglichst hohe Auslegungssicherheit zu bieten.**

Literatur

- [1] Armin Bürkholz: Droplet Separation, VCH Verlagsgesellschaft, D-6940 Weinheim, 1989
- [2] VDI Wärmeatlas 10. Auflage 2006, Kapitel LCD und Kapitel LDD (Muschelknautz)
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- [3] Friedrich Löffler: Staubabscheiden, Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York, 1988
Lehrbuchreihe Chemieingenieurwesen, Verfahrenstechnik