

mit Durchmesser kleiner $1,4 \mu\text{m}$ eingenommen. Die Partikeln werden mittels eines Bürstengenerators und Druckluft dem Rohgasstrom beigemischt. Auf der Reingasseite wird über eine Sonde isokinetisch ein Teilstrom abgesaugt und über einen Niederdruckkaskadenimpaktor geführt. Aus einem Vergleich der so ermittelten Partikelverteilung vor und nach dem Waschprozeß kann der Fraktions- und Gesamtabscheidegrad des Wäschers bestimmt werden. Für den Fraktionsabscheidegrad gilt:¹⁾

$$\eta_F(d_p) = \frac{\eta_{\text{ges}} y_2(d_p)}{y_1(d_p)} \quad (1)$$

wobei $y_2(d_p)$ den Wert der Massenverteilung im Reingas und $y_1(d_p)$ den Wert der Massenverteilung im Rohgas jeweils beim Partikeldurchmesser d_p bezeichnet.

2 Betriebsverhalten und Abscheideergebnisse

Bei den Untersuchungen wurden Gasvolumenstrom, Gastemperatur und Kehleengeometrie systematisch variiert und die Auswirkungen auf die Abscheideleistungen des Wäschers untersucht. Wie aus Abb. 1 hervorgeht, wird die Waschflüssigkeit – in allen Fällen unkonditioniertes Leitungswasser von 20°C – im Kreislauf geführt und im wesentlichen nur über die Ansaugwirkung des Venturis (ähnlich einer Strahlpumpe) in die Kehle eingebracht. Die sich einstellende Flüssigkeitsbelastung ist somit eine Funktion der Kehleengeschwindigkeit des Gases und der Kehleengeometrie. Es konnte beobachtet werden, daß mit steigender Kehleengeschwindigkeit die zugeführte Waschflüssigkeitsmenge abnimmt (Abb. 2), was auf das sich verringende treibende Druckgefälle zwischen Kehleninnenraum und Wasserzuführung zurückzuführen ist.

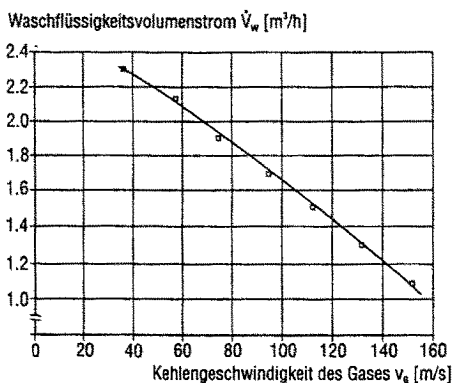


Abb. 2. Waschflüssigkeitsvolumenstrom in Abhängigkeit von der Kehleengeschwindigkeit des Gases; Eindüsung in zwei Ebenen; $T_G = T_W = 20^\circ\text{C}$.

In Abb. 3 werden Fraktionsabscheidegradkurven für verschiedene Kehleengeschwindigkeiten des Gases verglichen. Man erkennt zunächst, daß die sich einstellende Beladung L wie beschrieben mit steigender Kehleengeschwindigkeit abnimmt. Erwartungsgemäß verbessert sich die Abscheideleistung des Wäschers mit höherer Kehleengeschwindigkeit. Zur Modellierung der transienten Betriebsbedingungen eines Druckentlastungsprozesses wurde schrittweise der Gasvolumenstrom verringert, um die Auswirkungen auf

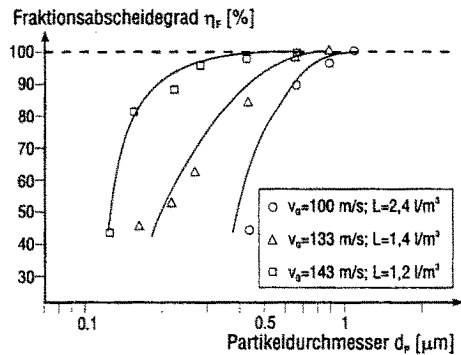


Abb. 3. Fraktionsabscheidegrad in Abhängigkeit von der Kehleengeschwindigkeit des Gases; Eindüsung der Waschflüssigkeit in zwei Ebenen; $T_G = 50^\circ\text{C}$.

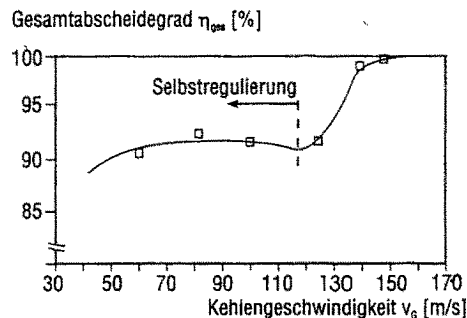


Abb. 4. Gesamtabscheidegrad in Abhängigkeit von der Kehleengeschwindigkeit des Gases.

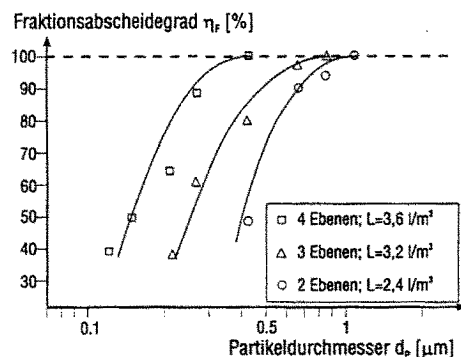


Abb. 5. Vergleich des Fraktionsabscheidegrades bei Zwei-, Drei- und Vier-Ebenen-Betrieb ($v_g = 100$ m/s, $T_G = 50^\circ\text{C}$).

die Abscheideleistung des Wäschers festzustellen (Abb. 4). Einer Verringerung des Gesamtabscheidegrades mit abnehmender Kehleengeschwindigkeit des Gases folgt ab einer Geschwindigkeit von etwa 120 m/s ein weiterer Bereich gleichbleibend hoher Abscheideleistung. Dies ist auf den Einfluß der bei kleineren Gasvolumenströmen steigenden Waschflüssigkeitsbelastung zurückzuführen (vgl. Abb. 2). Damit kann über einen weiten Betriebsbereich (Gasvolumenstrom) die Wäscherleistung auf einem hohen Niveau gehalten werden, ohne daß von außen regulierend auf den Prozeß eingewirkt werden müßte. Für die stark transienten Bedingungen eines Druckentlastungsprozesses ist die selbstregulierende Betriebsweise des Wäschers von großem Vorteil.

In Abb. 5 ist ein Vergleich der Abscheideleistung bei Zwei-, Drei- und Vier-Ebenen-Betrieb dargestellt. Der Grenzkorn Durchmesser d_{50} verringert sich mit mehr Eindüsungsebenen, im Vier-

1) Eine Zusammenstellung der Formelzeichen befindet sich am Schluß des Beitrags.

Ebenen-Betrieb wird der kleinste Grenzkorndurchmesser d_{50} von etwa $0,13 \mu\text{m}$ erreicht. Die verbesserte Abscheideleistung ist, wie eingangs beschrieben, auf die Neubildung der kurzlebigen, oberflächenintensiven Lamellen- und Membranstrukturen zurückzuführen. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß mit mehr Eindüsungsebenen der Querschnitt der Düsenbohrungen vergrößert und somit mehr Waschflüssigkeit eingedüst wird. Wie aber aus Abb. 3 hervorgeht, ist der Beladungseinfluß gerade bei hohen Kehlengeschwindigkeiten von untergeordneter Bedeutung, so daß die verbesserte Abscheideleistung bei Vier-Ebenen-Betrieb tatsächlich durch die vergrößerte Waschflüssigkeitsoberfläche bei mehrstufiger Eindüsung zu erklären ist.

In Abb. 6 sind für einige Wäscherbetriebspunkte der spezifische Energieaufwand zum Betrieb gegenüber dem erreichten Grenzkorndurchmesser aufgetragen. Betrachtet man zunächst nur die Punkte für den Zweiebenen-Betrieb, so erkennt man, daß zur Abscheidung kleinerer Partikeln mehr Energie notwendig ist, da hier die bessere Abscheideleistung durch eine Steigerung der Kehlengeschwindigkeit erreicht wird, die wiederum einen größeren Druckverlust über dem Wäscher bewirkt. Im Vergleich der Ebenen untereinander kann man aber erkennen, daß bei gleichem Energieaufwand mit vier Ebenen deutlich kleinere Grenzkorndurchmesser erreicht werden. Physikalisch läßt sich dies so erklären, daß man einerseits für den Impulsaustausch in jedem Strömungsquerschnitt ein optimales Verhältnis von Gas und Flüssigkeit einstellen muß, andererseits dem Gas viel Flüssigkeitsoberfläche anbieten sollte, an die die Partikeln angelagert werden können. Dies läßt sich nur durch mehrstufige Zugabe, d.h. durch Einbringen der Flüssigkeit in mehreren Ebenen, bewirken.

Eingegangen am 24. Mai 1993 [K 1565]

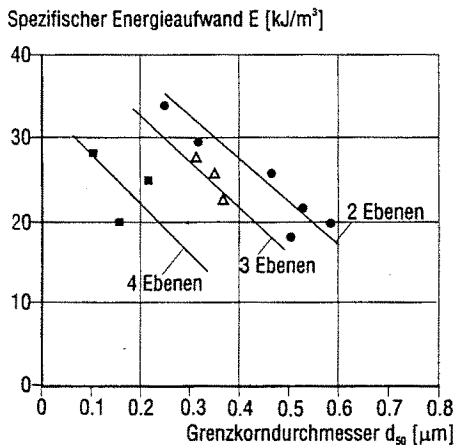


Abb. 6. Spezifischer Energieaufwand und Abscheideleistung bei Zwei-, Drei- und Vier-Ebenen-Betrieb.

Formelzeichen

d_{50}	[μm]	Grenzkorndurchmesser
d_p	[μm]	Partikeldurchmesser
E	[kJ/m^3]	spezifischer Energieaufwand
L	[m^{-3}]	Beladung
T	[$^{\circ}\text{C}$]	Temperatur
v	[m/s]	Geschwindigkeit
V	[m^3/h]	Volumenstrom
y	[μm^{-1}]	Massendichteverteilung
η_F	[%]	Fraktionsabscheidegrad
η_{ges}	[%]	Gesamtabscheidegrad

Indices

1	Rohgas
2	Reingas
G	Gas
W	Flüssigkeit

Literatur

- [1] Mayinger, F.; Neumann, M.: Ger. Chem. Eng. 1 (1978) S. 289/293.
- [2] Tigges, K. D.; Mayinger, F.: Chem. Eng. Process. 18 (1984) S. 171/179.

Ideales und reales Mischzeitverhalten im Rührkessel

Ernst Schönemann und Jutta Hein*

Das Mischzeitverhalten beschreibt die Abhängigkeit der Mischzeit vom Mischungsgrad. Bislang standen der fiktive Idealkessel und der faktische Rührkessel ziemlich übergangslos nebeneinander. Dagegen ist es Ziel und Gegenstand der vorliegenden Arbeit, die Übergänge vom idealen zum realen Mischverhalten im Rührkessel auf der Grundlage von Meßergebnissen darzustellen. Experimentell wurde die in [1] beschriebene Entfärbungsmethode (Jod/Thiosulfat) angewendet. Dabei wird die Mischzeit t als Zeitspanne zwischen Thiosulfat-Zugabe und vollständiger Entfärbung visuell gemessen, und der Mischungsgrad M wird vorgegeben als Mengenverhältnis an Thiosulfat:

$$M = \frac{\text{äquivalente Thiosulfat-Menge}}{\text{zugegebene Thiosulfat-Menge}}$$

Es wurde gefunden, daß für den Übergang vom idealen zum realen Verhalten das Konzentrationsniveau der zu vermischenden Flüssigkeiten und die Drehzahl bzw. der Strömungszustand die entscheidenden Größen sind, deren Wirkung auf das Mischzeitverhalten die beiden Mischzeitfunktionen (Gl. (1) und Gl. (2)) beschreiben:

$$t = t_0 + kM^m \quad (1)$$

$$t = t_0 + t_k \ln \frac{1}{1-M} \quad (2)$$

Gl. (1) gilt für das Vermischen von sehr verdünnten Lösungen (c_1), und Gl. (2) gilt für das Mischen konzentrierterer Lösungen (c_2); die Parameter t_0 (Totzeit), t_k (Zeitkonstante des Mischvorgangs), k und m sind von der Drehzahl abhängig.

Die Meßergebnisse eines 20-l-Rührkessels mit Propellerrührer [1-2] werden tabellarisch und graphisch dargestellt. Die Interdependenz der Einzelfaktoren und die Folgerungen für die praktische Anwendung werden diskutiert.

* Prof. Dr.-Ing. E. Schönemann und Dipl.-Ing. J. Hein, Fachhochschule Darmstadt, FB Chemische Technologie, Hochschulstr. 2, 64289 Darmstadt.