

Strömungsuntersuchungen in der Austrittsrohrleitung und in einem Zyklonabscheider bei Druckentlastung*

Sebastian Muschelknautz und Franz Mayinger**

Bei Notentspannungen von Chemie-Reaktoren oder bei prozeßbedingten Druckabsenkungen von Behältern tritt in der Regel außer Dampf auch Flüssigkeit aus dem Entlastungsventil in die Umgebung aus. Die ausgetragene Flüssigkeit lagert sich in der näheren Umgebung des Reaktors ab und verdunstet, wobei gefährliche Konzentrationen entstehen, die Giftgas- oder Explosionsunfälle zur Folge haben können, weil die in der Chemie gebräuchlichen Produkte sehr oft toxisch oder explosibel sind. Abb. 1 verdeutlicht den Entspannungsvorgang im Temperatur/Entropie-Diagramm.

Im Zusammenhang mit Untersuchungen über das Separationsverhalten von Flüssigkeitsabscheidern bei Druckentlastung wurde die aus dem Kessel austretende Zweiphasenströmung untersucht, die mit der Strömung am Abscheidereintritt ungefähr gleichzusetzen ist. Von besonderem Interesse waren die Phasenverteilung und die Phasengeschwindigkeiten in der Rohrleitung vor dem Separator. Die experimentellen Untersuchungen wurden in stationären Simulationsströmungen mit Luft/Wasser-Gemischen durchgeführt, weil detaillierte Messungen des Strömungsverhaltens bei einer instationären Druckentlastung wegen der sich rasch ändernden Strömungszusammensetzung nahezu unmöglich sind. Die Versuche zeigen, daß ein Teil der Flüssigkeit als dünner, langsamer Film an der Rohrwand entlangströmt, während der größere Teil in Form von Tropfen im schnellen Gaskern der Strömung mitgeführt wird. Diese Strömungsform wird in der Literatur auch „Wispy-annular flow“ genannt.

Zur Messung des Filmanteils wurde am Ende einer 2 m langen Rohrleitung mit 42 mm Innendurchmesser ein poröses Rohrstück so angebracht, daß es mit Hilfe eines elektrischen Antriebs in Rotation versetzt werden konnte. Die Wandfläche des porösen Rohrstücks bestand aus einem entsprechend bearbeiteten grobporigen Schwamm, der bei einer Drehzahl von 2000 min^{-1} den von unten anströmenden Flüssigkeitsfilm in Drehung versetzte, wodurch dieser unter Einwirkung

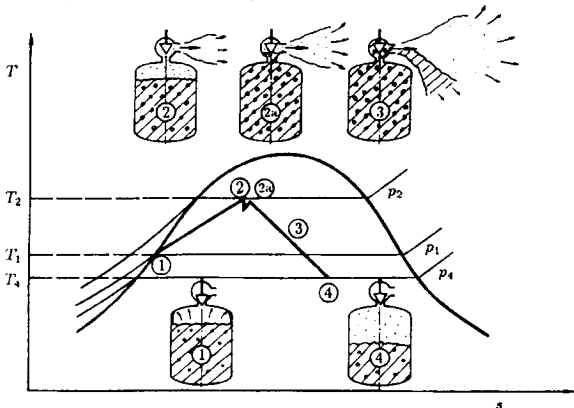


Abb. 1. Durchgehende Reaktion und Druckentlastung im T/s -Diagramm.

* Vortrag von S. Muschelknautz auf dem Jahrestreffen der Verfahrens-Ingenieure, 27. bis 29. Sept. 1989 in Berlin.

** Dr.-Ing. S. Muschelknautz und Prof. Dr.-Ing. F. Mayinger, Lehrstuhl A für Thermodynamik der TU München, Arcisstr. 21, 8000 München 2; neue Anschrift von S. Muschelknautz: Linde AG, 8023 Höllriegelskreuth.

der Zentrifugalkraft durch den Schwamm hindurch in einen Auffangbehälter geleitet wurde. Vorversuche zeigten, daß die abgeschaltete Flüssigkeitsmenge ab der genannten Drehzahl ungefähr konstant blieb. Daraus wurde geschlossen, daß mit dieser Einstellung der gesamte Flüssigkeitsfilm abgeführt wird.

Die Tropfengeschwindigkeit im Gaskern wurde mit Hilfe des gemessenen Impulses der Tropfen ermittelt. Die Messung erfolgte mittels eines Prallschirms, der mit einer Kraftmeßdose verbunden war und die im Rohrkern strömende Flüssigkeit in die Horizontale umlenkte. Die Versuche, die im Gasgehaltsbereich von $0,05 < \dot{x} < 0,9$ und im Gasgeschwindigkeitsbereich von $10 \text{ m/s} < w_G < 80 \text{ m/s}$ durchgeführt wurden, zeigten, daß 40 bis 80 % der Flüssigkeit in Form von Tropfen im Gaskern transportiert werden. Die Tropfengröße liegt im Bereich von $200 \mu\text{m}$ bis $700 \mu\text{m}$ und hängt im wesentlichen von der Gasgeschwindigkeit ab. Der Schlupf der Tropfen im Gaskern beträgt im Mittel 2,5 und ist kaum von der Gasgeschwindigkeit abhängig.

Zusätzlich wurde noch die Geschwindigkeit des Wandfilms gemessen, die im Bereich von wenigen Metern pro Sekunde liegt. Die Messung erfolgte mit Hilfe eines sehr dünnen Staudruckröhrchens. Um die Versuchsergebnisse auch auf andere ähnliche Zweiphasenströmungen anwenden zu können, wurden dimensionslose Kennzahlen gebildet und die Abhängigkeit der Meßgrößen von den Kennzahlen durch Funktionen ausgedrückt. Abb. 2 zeigt beispielhaft den gemessenen Flüssigkeitsanteil im Strömungskern in Abhängigkeit von der Barth-Zahl und der Flüssigkeitsbeladung.

Anhand eines Beispiels wird die Anwendung der entwickelten Gleichungen auf die Berechnung von Strömungsform und -zusammensetzung am Eintritt eines Großzyklons für Druckentlastung demonstriert.

Neben der Strömung in der Austrittsleitung wurde auch das Verhalten der in einen Zyklonabscheider eintretenden Flüssigkeit untersucht. Bei heftiger Druckentlastung geht man wegen der Kürze des Vorgangs davon aus, daß die Flüssigkeit als Schwall in den Abscheider einströmt. Innerhalb des Schwalls herrscht annähernd die oben erläuterte Strömungsform. Ein Modellzyklon aus Acrylglas diente zur Untersuchung des Verhaltens eines Luft/Wasser-Schwalls im Inneren eines Abscheiders. Hochgeschwindigkeitsfilmaufnahmen zeigten, daß die eintretende Flüssigkeit unmittelbar nach dem tangentialen Einlauf einen Film bildet, der sich rasch verbreitert. Nach etwa einem Umlauf trifft das untere Ende der Filmfront auf den Zyklonboden auf.

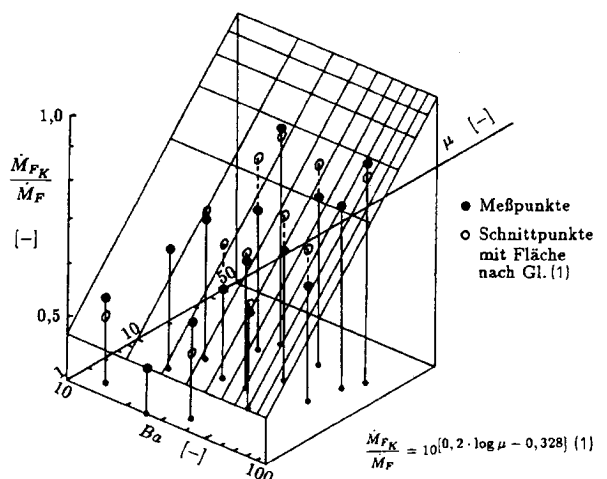
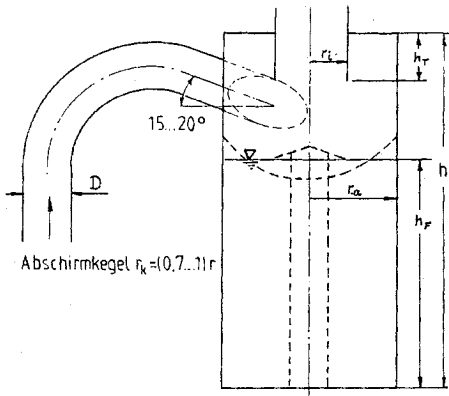


Abb. 2. Abhängigkeit des Kernflüssigkeitsanteils \dot{M}_{FK}/\dot{M}_F von der Barth-Zahl Ba und der Flüssigkeitsbeladung μ .



$$\frac{V_{\text{Gas}}}{\pi r_a^2} = 3 \dots 6 \text{ m/s}$$

$$r_a > 1,5D$$

$$h > 3r_a$$

$$r_i = 0,5 \dots 1D$$

$$h_f = 1,5 \dots 2,0r_i$$

$$V = 1,5V_F$$

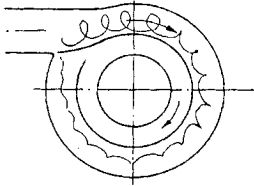


Abb. 3. Auslegungskriterien und Konstruktionsvorschlag für einen Zyklonabscheider bei Druckentlastung.

Für die Auslegung eines Zyklonabscheiders lassen sich aus den Untersuchungen folgende Schlüsse ziehen:

- 1) Das Volumen des Abscheiders muß ausreichend groß gewählt werden, damit die Separation nicht durch die Gemischbildung am Boden beeinträchtigt wird. Als Anhaltswert soll mindestens das Anderthalbfache des Flüssigkeitsvolumens, das ausgetragen und gespeichert wird, herangezogen werden.

- 2) Die radiale Kraft auf den Zyklon erreicht ihr Maximum nach einem halben Umlauf des Films und entspricht nicht ganz dem doppelten Eintrittsimpuls der Flüssigkeit. Sie wirkt in Richtung des tangentialen Einlaufs. Wenn die Flüssigkeitseinströmung nach einem Umlauf des Films noch nicht beendet ist, wirkt eine Radialkraft auf den Behälter, die der Differenz der Flüssigkeitsimpulse an dieser Stelle entspricht. Dabei liegt der Kraftangriffspunkt etwas unterhalb der Einlaufebene. Die höchstbelastete Stelle der Abscheiderwand ist unmittelbar hinter dem tangentialen Einlauf.

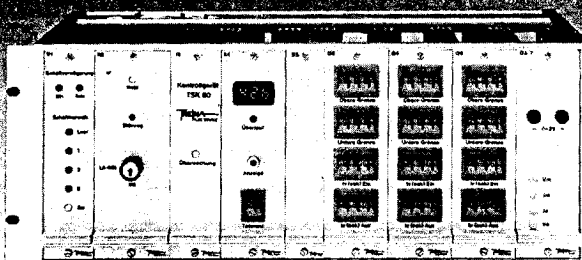
In Anlehnung an die Modellversuche wird für Druckentlastungszyklone eine Geometrie, wie in Abb. 3 dargestellt, vorgeschlagen. Es handelt sich hierbei um einen zylindrischen Zyklonabscheider mit einem schräg nach unten geneigten tangentialen Einlauf. Dadurch wird der eintretenden Flüssigkeit ein Abwärtsimpuls erteilt, der für ihre rasche Ablagerung hilfreich ist. Die wichtigsten Auslegungsdaten sind der Abb. 3 zu entnehmen. Sie basieren auf den Erkenntnissen aus den Modellversuchen sowie auf Erfahrungen mit konventionellen Zyklonabscheidern, die mit hohen Beladungen betrieben werden. Das Tauchrohr ist unbedingt erforderlich, damit keine Flüssigkeit wegen der raschen vertikalen Ausdehnung des Films nach oben austreten kann. Das Volumen V des Abscheiders ist ungefähr anderthalbmal so groß wie das abgeschiedene Flüssigkeitsvolumen V_F zu wählen. Die Auslegung des Abscheiders hinsichtlich Grenztröpfengröße und Druckverlust erfolgt mit den bekannten Methoden.

Eingegangen am 11. Januar 1990

Schlüsselworte: Zyclone, Strömung, Reaktoren, Druckentlastung, Flüssigkeitsabscheider.

Das vollständige Manuskript dieser Arbeit umfaßt 29 Seiten mit 14 Abbildungen und 10 Literaturzitate. Es ist als Fotokopie oder Mikrofiche MS 1875/90 erhältlich.

Automatische Phasentrennung von Flüssigkeiten



System TREINA Electronics AG

Selbstüberwachen
Digitale Mess- und Datenverarbeitung
Sondertechnologien für höchste Ansprüche
PTB (SEV)-Zulassung Zone 0
Chargen- oder kontinuierliche Abtrennung
- Trennschichtrohrsonden
- Trennschichtstabsonden

aquasant
Messtechnik AG

Hauptstr. 20 CH-4416 Bubendorf Tel. 061/9 31 12 55

Verlangen Sie weitere Unterlagen

ILMAC '90 Basel vom 23. bis 26. 10. 1990 · Halle 300/Stand 623