



Doctoral Thesis

Charakterisierung von Mehrstoffdüsen für Suspensionen

Author(s):

Isenschmid, Thomas

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000635866> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 9609

**Charakterisierung von Mehrstoffdüsen für
Suspensionen**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

THOMAS ISENSCHMID

Dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 8. Februar 1960
von Bern (BE)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. L. Reh, Referent
Prof. Dr. F. Widmer, Korreferent

Zürich 1992

Summary

Atomization of suspensions is a key unit process for design and operation of spray dryers. The objective of this work is to characterize the spray of two-fluid nozzles with industrial flow rates ($>300\text{l/h}$) that are used in continuous fluidized bed granulators. Disintegration of suspensions to increase specific surface area, to improve heat and mass transfer as well as chemical reactions is not only of great importance in the chemical process and food industry but also in power generation, in material science and in the application of thin layers to a surface.

External mixing two-fluid nozzles are characterized by the fact that atomizing energy is provided by compressed air. Therefore, the liquid feed can be supplied to the nozzle almost without any pressure - which is ideal for suspensions. The compressed air flow rate can be varied independently of the liquid flow rate corresponding to the needs of an optimal atomization.

For this work an industrial size nozzle test rig was built at the Institute for Process and Cryogenic Engineering at the Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zürich). Industrial size nozzles can be tested with the same suspension flow rates as in real dryers. The liquid is kept in a closed cycle while the air is discharged to the stack after having passed a vane blade droplet separator. The test rig is made out of plexiglass in order to have visual control of the spray patterns.

A Phase-Doppler-Particle-Analyzer (PDPA) proved to be optimal to measure drop size, velocity and concentration simultaneously and non-intrusively. The nozzle is mounted to a three dimensional computer controlled traverse system. The PDPA is attached to a fixed base. This experimental set up allows to take local measurements at any point within the spray cone.

Immediately before the feed is being sprayed its viscosity is measured on-line. This is accomplished by measuring pressure drop over a self developed and calibrated orifice. This method is suitable for non-newtonian liquids as well as suspensions.

Water based liquids and suspensions were used to simulate and model real chemical formulations. By adding polyglycol to water the viscosity could be changed. Suspensions of china clay, filter cel and sand with a narrow particle

size distribution were produced by hydrocyclone classification. The atomizing parameters were as follows:

gas flow rate:	100	-	3200 m ³ /h
gas pressure:	1	-	6 bar
feed flow rate (formulation):	100	-	1000 l/h
feed viscosity:	1	-	180 mPas
feed surface tension:	0.057	-	0.072 N/m
feed solids concentration:	0	-	30 Gew.%
size of solids (d _{50,3}):	4	-	16 μm
optical transparency of feed (=n ⁻¹):	0	-	1·10 ⁻³

A total of 3502 single measurements were performed. They showed that an equal drop size distribution results only above the critical atomization state. This means that the atomizing air reaches velocity of sound at the exit hole of the nozzle and expands vigorously outside the nozzle. Below the critical pressure ratio, atomization is incomplete and large drops are formed.

For water, the average drop size was mainly influenced by the air-to-liquid ratio (ALR). With increased ALR the average Sauter Mean Diameter (SMD) decreases. At the same time, the spray cone becomes narrower and a higher local air and drop velocity as well as a higher local liquid flow rate results. In general, towards the edge of the spray cone drop size increases and drop velocity and specific liquid flow rate decrease.

With increasing viscosity of the pure liquid the local and the average SMD increase. Compared to water, a higher ALR does not change drop size as much.

Suspensions with solids concentrations < 6% by weight showed with increased ALR a similar behaviour to water. But with increasing solids concentration, the influence of ALR on drop size diminishes - the average drop size becomes independent, provided that pressure ratio is above the critical one. A definite influence of the solids size distribution could not be found. It is assumed that the smaller the solids size is, the more important surface forces become.

Mie-scattering calculations and analysis of detected signals showed that partly absorbing particles (= drops with suspended solid particles) can be measured by PDPA as long as the complex refractive index is < 10⁻³. The scattered light

from the suspended particles within the drops causes an indistinct fringe pattern. As a result signal-to-noise ratio and therefore signal quality decrease.

The measurements were compared to existing drop size equations from literature. For the SMD as a function of ALR, good agreement could be found. As a function of viscosity the SMD measurements were partially in accordance with the equations.

Zusammenfassung

Das Zerstäuben von Suspensionen ist ein Schlüsselprozess bei der Auslegung und beim Betrieb von Sprühtrocknern. In dieser Arbeit wurden Mehrstoffdüsen untersucht, die in neu entwickelten Wirbelschichtgranulatoren, wobei man darunter Sprühtrockner mit einem integrierten Wirbelbett zur Aufbaugranulation versteht, eingesetzt werden. Das Zerteilen von Suspensionen zur Vergrößerung der spezifischen Oberfläche, des Wärme- und Stoffaustauschs und zur Beschleunigung von chemischen Reaktionen ist aber nicht nur in der Verfahrenstechnik, sondern auch in der Krafterzeugung sowie in der Werkstoff- und Lackiertechnik von grosser Bedeutung.

Aussenmischende Mehrstoffdüsen sind dadurch gekennzeichnet, dass die notwendige Zerstäubungsenergie durch ein komprimiertes Gas in den Prozess eingebracht wird. Deshalb kann die Flüssigkeit, für Suspensionen ideal, nahezu drucklos und mit geringer Strömungsgeschwindigkeit zugeführt, sowie die Druckluftmenge unabhängig von der Flüssigkeitsmenge eingestellt werden. Ähnliche Düsen dieses Typs wurden bisher nur für geringe Flüssigkeitsströme ($< 20 \text{ l/h}$) und mit Wasser als Versuchsmedium untersucht.

Der in der Aussenstelle des Instituts für Verfahrens- und Kältetechnik der ETH Zürich im Rahmen dieser Arbeit errichtete Düsenprüfstand industrieller Grösse, erlaubt die Durchführung von Versuchen mit Zweistoffdüsen wie sie in technischen Anlagen vorhanden sind und mit der Realität entsprechenden Durchsätzen. Die Flüssigkeit wird in einem geschlossenen Kreislauf geführt, das Zerstäubergas und die angesaugte Raumluft werden in einen Abluftkamin geleitet. Die Sprühkabine ist aus Plexiglas gebaut, so dass der Zerstäubungsvorgang auch optisch beobachtet werden kann.

Zur Messung von Grösse, Geschwindigkeit und Konzentration der Tropfen im Sprühkegel erwies sich ein Phase-Doppler-Particle-Analyzer (PDPA) als optimal. Die Düse wird an einem dreidimensionalen, rechnergesteuerten Traversiersystem befestigt, so dass mit dem fix montierten PDPA lokale Messungen an jeder beliebigen Stelle innerhalb des Sprühkegels erfolgen können. Die Viskosität des zerstäubten Mediums wird unmittelbar vor der Düse mittels einer einfachen Differenzdruckmessung über einer selbst entwickelten und kalibrierten

Normdüse on-line bestimmt und überwacht. Diese Methode eignet sich sowohl für nicht-newtonsche Flüssigkeiten als auch für Suspensionen.

Zur Simulation und Modellierung der realen Prozessformulierungen wurden wässrige Flüssigkeiten und Suspensionen eingesetzt. Durch Zugabe von Polyglykol zu Wasser konnte die Viskosität der Mischung stark variiert werden. Mit Kaolin, Filter Cel und Quarzmehl wurden mittels Klassierung in einem Hydrozyklon Suspensionen enger Korngrössenspektren hergestellt und untersucht. Bei den auf diese Weise hergestellten Formulierungen wurden Versuchsparameter in folgenden Bereichen verändert:

Volumenstrom Gas:	100	-	3200 m ³ /h
Druck Zerstäubergas:	1	-	6 bar
Volumenstrom Formulierung:	100	-	1000 l/h
Viskosität:	1	-	180 mPas
Oberflächenspannung	0.057	-	0.072 N/m
Konzentration des Feststoffes:	0	-	30 Gew.%
Mittlere Korngrösse (d _{50,3}):	4	-	16 µm
Optische Transparenz der Formulierung (=n ¹):	0	-	1·10 ⁻³

Alle im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten 3502 Einzelmessungen zeigten, dass eine gleichmässige Tropfengrössenverteilung nur bei einem überkritischen Zerstäubungszustand erreicht werden kann. Dies bedeutet, dass die Druckluft in der Mündung Schallgeschwindigkeit erreicht und ausserhalb der Düse auf den Umgebungszustand expandiert. Sinkt das Druckverhältnis unter das kritische, so führt dies zur Bildung von einzelnen, grossen und senkrecht zur Sprühhichtung abspritzenden Tropfen. Das ist unerwünscht, da dieses Verhalten in einem Wirbelschichtgranulator zu einer Produktablagerung an der Wand oder einer unnötigen Belastung der Abluftfilter führt.

Das Massenstromverhältnis Druckluftmenge zu zerstäubter Flüssigkeitsmenge (ALR) bestimmt bei den Versuchen mit Wasser die mittlere Tropfengrösse. Mit zunehmendem ALR wird der über den Sprühkegel gemittelte Sauterdurchmesser immer kleiner. Gleichzeitig wird der Sprühkegelradius zunehmend eingeeengt, so dass die lokale Luft- und Tropfengeschwindigkeit und die spezifische Flüssigkeitsbelastung im Sprühkegel zunimmt. Allgemein gilt, dass mit zunehmendem Abstand von der Sprühkegelmitte die Tropfengrösse ansteigt,

während die Tropfengeschwindigkeit und die spezifische Flüssigkeitsbelastung zum Sprühkegelrand hin abnehmen.

Nimmt die Viskosität der reinen Flüssigkeit zu, so steigt auch der lokale und über den Sprühkegel gemittelte Sauterdurchmesser bei gleichem Düsenluftdruck an. Im Unterschied zu Wasser kann mit zunehmender Steigerung des Zerstäubungsluftdruckes jedoch nur eine gering feiner werdende Zerstäubung gemessen werden.

Bei Suspensionen wurde festgestellt, dass bei Konzentrationen < 6 Gew.% bei einer Erhöhung des ALR ein ähnliches Verhalten wie bei Wasser vorhanden ist. Mit zunehmender Konzentration des Feststoffes nimmt die Wirkung eines gesteigerten Düsenluftdruckes ab, die Tropfengrösse ist unabhängig vom Massenstromverhältnis, solange man überkritisch zerstäubt. Ein eindeutiger Einfluss der Korngrösse des suspendierten Feststoffes konnte nicht festgestellt werden. Es wird vermutet, dass der Einfluss der Oberflächenkräfte mit kleiner werdenden Teilchenabmessungen grösser wird und eine dominante Wirkung hat.

Mittels Simulationsrechnung für die Mie-Streuung und Analyse der detektierten Signale konnte gezeigt werden, dass mit dem PDPA teilweise absorbierende Tropfen bis zu einem Betrag von 10^{-3} des Imaginärteils des komplexen Brechungsindex (n'') gemessen werden können. Das von den im Tropfen suspendierten Feststoffteilchen stammende zusätzliche Streulicht führt zu einer Abnahme des Interferenzstreifenkontrastes im Messvolumen und damit zu einem reduzierten Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) und der Signalqualität.

Bei einem Vergleich der eigenen Messresultate mit Werten aus der Literatur - es handelt sich dabei um teilweise empirisch hergeleitete Gleichungen für den über den Sprühkegel gemittelten Sauterdurchmesser - wurde in Abhängigkeit des Massenstromverhältnisses eine vollständige und in Abhängigkeit der Viskosität eine teilweise Übereinstimmung festgestellt.