

Aus der Sektion Verfahrenstechnik  
der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg  
Wissenschaftsbereich Thermische Verfahrenstechnik  
(Leiter des Wissenschaftsbereiches: Prof. Weif)

## **Verfahrenstechnische Probleme der Verdüsung flüssiger Absorptionsmittel für die Rauchgasentschwefelung**

Von Frank Ruhland

Mit 3 Abbildungen

(Eingegangen am 23. Januar 1989)

### **Einleitung**

Schutz und Gestaltung der Lebensumwelt des Menschen gehören zu den aktuellen Problemen der gesellschaftlichen Entwicklung. Die stürmische Entwicklung der Produktion bringt aber auch eine erhöhte Schadstoffemission in die Atmosphäre mit sich. Die bedeutendsten gasförmigen Schadstoffe stellen Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid dar, die hauptsächlich als Abprodukte bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen. Zu den Emittenten zählen auch unsere Braunkohlenkraftwerke.

Zum Schutz unserer Umwelt wird es immer dringender erforderlich, die industriellen Abgase als Hauptträger gasförmiger Schadstoffe zu reinigen. Besonders zur Entschwefelung von Rauchgasen aus Verbrennungsanlagen wurden in den letzten Jahren eine Reihe von Verfahren entwickelt. Durchgesetzt haben sich solche Verfahren, die mit wäßrigen Absorptionsmitteln arbeiten. Als Absorbentien kommen hauptsächlich Natrium- und Kalziumverbindungen zum Einsatz. Da Kalzium in seinen Verbindungen in der DDR häufig vorkommt, ja zum Teil auch als Abprodukt anfällt, bietet sich sein Einsatz in Form von Kalziumhydroxid oder Kalkstein an. Leider besitzen wäßrige Lösungen mit dem erforderlichen Gehalt an Kalziumionen einen entscheidenden Nachteil. Sie sind aufgrund der Löslichkeitseigenschaften der verwendeten Kalziumverbindungen feststoffhaltig, was den Einsatz konventioneller Stofftrennungsapparate wie Boden- und Füllkörperkolonnen mit den bekannten leistungsfähigen Einbauten wegen der Verstopfungsgefahr unmöglich macht. Als Alternative bietet sich das Versprühen des Absorptionsmittels mit Düsen in Sprühabsorbern an.

Die bei den Rauchgasentschwefelungsanlagen ausgeführten Durchmesser der Absorber liegen im Bereich bis zu 20 m. Diese entsprechend großen Flächen können mit einer Düse nicht mehr effektiv besprüht werden. Um das Zusammenwirken mehrerer Düsen in einer Sprühebene zu beschreiben, wurden Untersuchungen zur Flüssigkeitsverteilung im Sprühkegel, zum Sprühwinkel, dem Verhalten bei Gegenstrom eines Gases und zur erzeugten Phasengrenzfläche durchgeführt.

### **Flüssigkeitsverteilung und Sprühwinkel**

Als Meßvorrichtung diente ein Gestell mit über den Querschnitt angeordneten Reagenzgläsern. Es wurde in drei Ebenen (15, 32, 50 cm Abstand von der Düse) gemessen. Abb. 1 zeigt eine typische Flüssigkeitsverteilung im Sprühkegel von Hohlkegeldüsen. Der Verlauf der Flüssigkeitsdichte zeigt ausgeprägte Maxima. Mit zu-

nehmendem Abstand von der Düse tritt eine Vergrößerung der besprühten Kreisringfläche ein, hervorgerufen durch die horizontale Geschwindigkeitskomponente der Tropfen, währenddessen die Maxima stark abflachen.

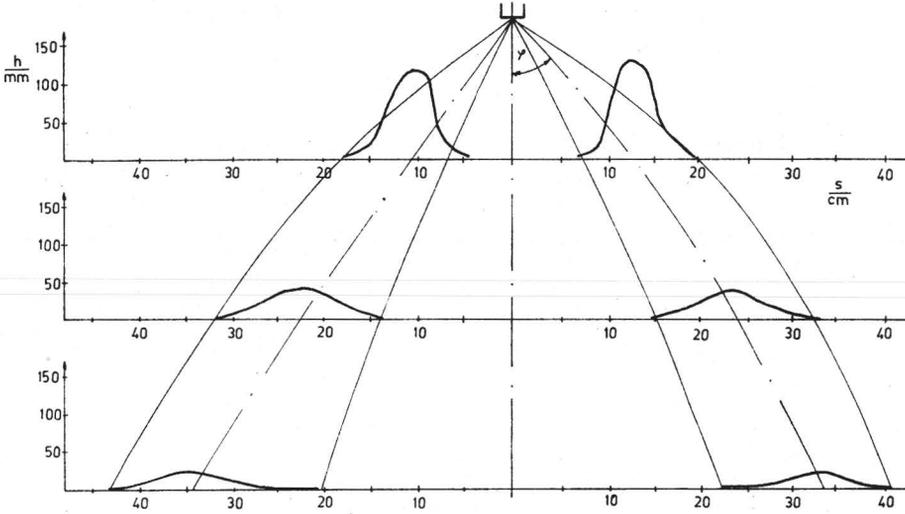


Abb. 1. Flüssigkeitsverteilung im Sprühkegel einer Hohlkegeldüse ( $h$  – Füllhöhe der Reagenzgläser,  $s$  – Abstand von der Düsenachse)

Durch die geringe Flüssigkeitsdichte am Rand des Hohlkegels besteht die Möglichkeit zu Überschneidungen von Sprühkegeln. Bei entsprechender Anordnung der Düsen kann die Berieselungsdichte im Sprühabsorber vergleichmäßig werden.

Einfluß auf die Anordnung mehrerer Düsen in einer Sprühebene eines Absorbers

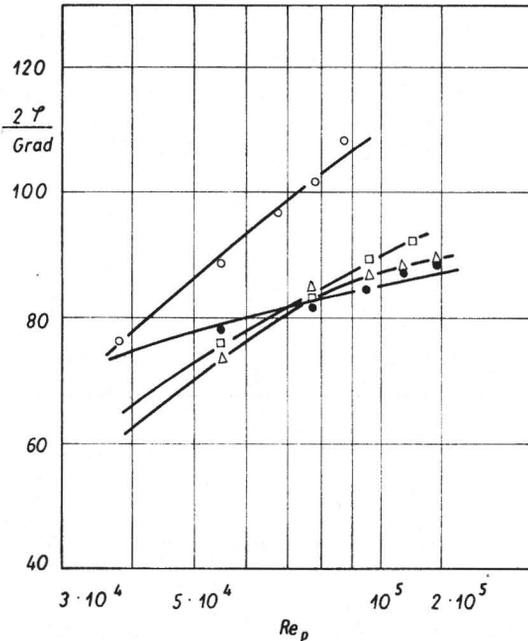


Abb. 2  
Doppelter Sprühwinkel von Hohlkegeldüsen in Abhängigkeit von der Druckreynoldszahl ( $Re_p = D (\Delta p S)^{0,5} / 2$ )  
(●, △, □ – unterschiedliche Düsenkonstruktionen)

hat der Sprühwinkel der Düsen. Der hier verwendete Sprühwinkel ergibt sich als Winkel zwischen der Verlängerung der Düsenachse und der Tangente an die Kurve der Maxima der Berieselungsdichten am Düsenaustritt. Er ist eine Funktion der Düsengeometrie und des Durchsatzes bzw. des Vordruckes. Entscheidend für den Sprühwinkel ist die geometrische Gestaltung der Düse. Der Einfluß des Vordruckes (Abb. 2) ist dagegen nur von untergeordneter Bedeutung, da ohnehin ein stationärer Betriebszustand angestrebt wird, d. h. der Betriebsdruck (Durchsatz der Düse) und somit der Sprühwinkel festgelegt ist.

Der Einfluß von flüssigkeitsseitigen Lastschwankungen ist vernachlässigbar gering, h. h. mit der Gestaltung bzw. Auswahl entsprechender Düsen ist der Sprühwinkel festgelegt.

#### Verhalten des Sprühkegels bei Gegenstrom eines Gases

Für eine optimale Anordnung der Düsen ist ebenso die Kenntnis der Aufweitung des Sprühkegels bei Gegenstrom eines Gases (natürlich nur bei Gegenstromapparaten) notwendig. Eine bloße Aufweitung kommt durch die Verringerung der vertikalen Geschwindigkeitskomponente der Tropfen bezüglich des Absorbers bei annähernd konstanter horizontaler Geschwindigkeitskomponente zustande.

Die Untersuchungen hierzu wurden in einem Bereich der Gasgeschwindigkeit von 0 bis 3,5 m/s durchgeführt. Die Gasgeschwindigkeit wurde durch Bestimmung des Staudruckes mit einem Prandtl-Rohr ermittelt. Die Abhängigkeit des „scheinbaren“ Sprühwinkels von der Gasgeschwindigkeit zeigt Abb. 3. Es ist erkennbar, daß mit steigender Gasgeschwindigkeit im Bereich von 2 bis 3,5 m/s eine überproportionale Abhängigkeit des „scheinbaren“ Sprühwinkels vorliegt. Der Begriff scheinbarer Sprühwinkel wurde gewählt, weil der Sprühwinkel der Düsen nahezu unabhängig von der Gasgeschwindigkeit ist. Die Abhängigkeit ist lediglich über die Veränderung des Düsenvordruckes durch den Staudruck des Gases gegeben. Dieser ist aber wegen der geringen Gasdichte vernachlässigbar gering.

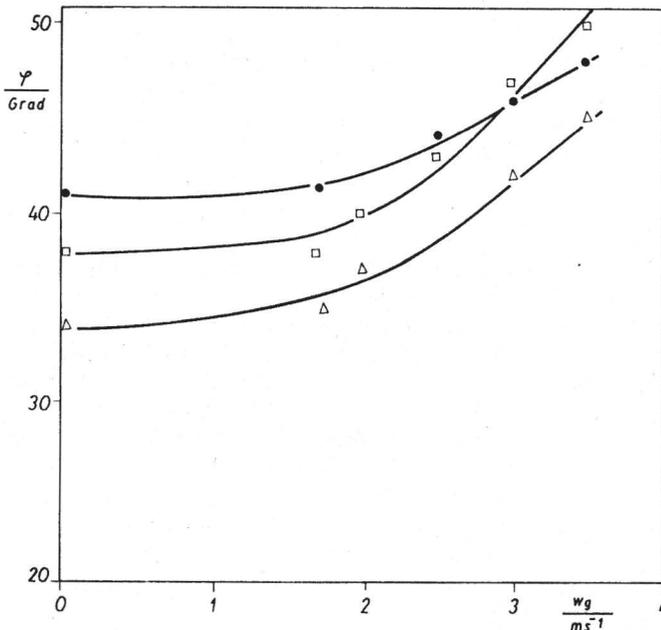


Abb. 3  
Scheinbarer Sprühwinkel  
in Abhängigkeit von der  
Gasgeschwindigkeit  
(●, Δ, □ - unterschiedliche  
Düsenkonstruktionen)

Das Vorhandensein einer überproportionalen Aufweitung des Sprühlagers bei großen Gasgeschwindigkeiten hat für die Optimierung der Düsenanordnung durchaus Bedeutung, da hierüber ein Einfluß auf die Qualität des Sprühvorganges bei Verwendung mehrerer Düsen vorliegt. Das Aufeinandertreffen der Tropfen zweier Sprühkegel kann zu zwei grundlegend verschiedenen Ergebnissen führen, zum einen zur Tropfenkoaleszenz und zum anderen zu einer weiteren Zerteilung der Tropfen. Natürlich werden beide Prozesse gleichzeitig stattfinden, da beim Versprühen stets ein Tropfenspektrum erzeugt wird und so auch die Impulse der einzelnen Tropfen durch deren unterschiedliche Größe und Geschwindigkeit verschieden sind. Welcher Prozeß nun beim Zusammenprall überwiegt, hängt in entscheidendem Maße auch vom Auftreffwinkel der Tropfen ab, da der Impuls eine vektorielle Größe darstellt.

Die Effektivität des schon sehr energieaufwendigen Versprühens kann an den Überschneidungsstellen sonach stark gemindert werden. Bei zu kleinem Auftreffwinkel kann es also zur verstärkten Tropfenkoaleszenz und damit zur Vernichtung von Phasengrenzfläche kommen.

### Phasengrenzfläche

Die experimentelle Bestimmung der Phasengrenzfläche erfolgte mit der chemischen Methode. Die Oxydation einer Natriumsulfitlösung läuft unter bestimmten Bedingungen als Momentanreaktion ab, d. h. die Reaktion ist so schnell, daß sie bereits an der Phasengrenzfläche stattfindet. Somit besteht die Möglichkeit, die Phasengrenzfläche explizit zu bestimmen. Ein Vergleich von experimentell bestimmter und über Korrelationen für den mittleren Tropfendurchmesser vorausberechneter Phasengrenzfläche zeigt gute Übereinstimmung. Es ist also möglich, die beim Versprühen erzeugte Phasengrenzfläche vorauszuberechnen.

### Berechnungskonzept

Zur Bestimmung der Querschnittfläche erweist es sich als vorteilhaft, mit dem Gasbelastungsfaktor, das ist Gasgeschwindigkeit  $\times$  Wurzel aus der Gasdichte, zu operieren. Aus Untersuchungen zu bisher betriebenen Anlagen können Richtwerte für Gasbelastungsfaktor von 2,0 . . . 2,6  $\text{kg}^{0,5}\text{m}^{-0,5}\text{s}^{-1}$  entnommen werden. Hierfür läßt sich leicht der benötigte Absorberquerschnitt bestimmen. Die Düsenauswahl und -anordnung erfolgt auf der Grundlage der zu Beginn dargelegten Erkenntnisse. Eine Abschätzung der Höhe des Absorbers kann analog zur Berechnung von Füllkörperkolonnen erfolgen. Über die folgende Beziehung läßt sich die Höhe des Sprühabsorbers bestimmen:

$$\text{Stoffstrom} = \text{Intensitätskoeffizient} \times \text{Phasengrenzfläche} \times \text{Triebkraft.}$$

Die Berechnung der Phasengrenzfläche erfolgt über den mittleren Tropfendurchmesser, welcher aus Korrelationen berechnet werden kann. Als schwierig zu erfassende Einflüsse erweisen sich hierbei der Einfluß der Mehrphasenströmung und das Vorhandensein mehrerer Düsenebenen. Die komplizierten Strömungsverhältnisse werden für die Abschätzung der Höhe des Absorbers stark vereinfacht und fließen nur über die stationäre Sinkgeschwindigkeit der Tropfen in die Berechnungen ein. Die Veränderungen der Phasengrenzfläche durch das Vorhandensein mehrerer Düsenebenen im Absorber kann durch eine funktionale Angleichung an die bekannten Stützwerte oder durch eine günstige Mittelung berücksichtigt werden.

Die Berechnung des Intensitätskoeffizienten erfolgt über bekannte Korrelationen. Zu beachten ist, daß es sich bei der Absorption des  $\text{SO}_2$  aus dem Rauchgas um eine Chemosorption handelt, bei der in der flüssigen Phase eine chemische Reaktion abläuft.

Frank Ruhland  
Technische Hochschule „Carl Schorlemmer“  
Leuna/Merseburg  
WB Thermische Verfahrenstechnik  
Otto-Nuschke-Straße  
Merseburg  
DDR - 4200