

Dipl.-Ing. Andreas Schenkel, Leonberg

# **Wachstum und Abscheidung von Aerosolen in naßarbeitenden Systemen**

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **440**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Liste der Formelzeichen.....</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Aerosolproblematik .....	1
1.2 Energiesparende Naßabscheidung von Aerosolen .....	1
1.3 Ziel der Arbeit.....	3
<b>2 Stand des Wissens beim Wachstum und der Abscheidung von Aerosolen .....</b>	<b>4</b>
2.1 Aerosolbildung.....	4
2.1.1 Aerosolklassen.....	4
2.1.2 Teilaspekte der Aerosolbildung.....	5
2.1.3 Keimbildung.....	6
2.2 Koagulation.....	10
2.3 Aerosolwachstum durch Kondensation.....	12
2.3.1 Gassättigung.....	12
2.3.2 Übersättigung des Gasstroms .....	15
2.3.3 Wachstumsgeschwindigkeit .....	17
2.3.4 Ziele der eigenen Wachstumsuntersuchungen .....	18
2.4 Aerosolabscheidung in Naßwäschern.....	19
2.4.1 Naßabscheidertypen.....	19
2.4.2 Trägheitsabscheidung .....	21
2.4.3 Turbulente Diffusion.....	26
2.4.4 Elektrostatik .....	29
2.4.5 Brownsche Molekularbewegung und Diffusion .....	33
2.4.6 Diffusiophorese und Stefan-Strom.....	36
2.4.7 Thermophorese .....	39
2.4.8 Fazit für die Modellierung .....	40
<b>3 Modellierung eines Naßabscheiders.....</b>	<b>42</b>
3.1 Allgemeine Vorbemerkungen.....	42
3.2 Turbulente Zweiphasenströmung .....	43
3.2.1 Impuls- und Massenbilanz für die Gasphase.....	43
3.2.2 Turbulenzmodell.....	45
3.2.3 Impuls- und Massenbilanz für die Tropfen.....	48
3.2.4 Wärme- und Stoffübergang.....	53
3.3 Aerosolabscheidung .....	56
3.3.1 Veränderung der Partikelkonzentration im Abscheider .....	56
3.3.2 Trägheitsmechanismen .....	58
3.3.3 Elektrostatische Mechanismen.....	58
3.3.4 Diffusionsmechanismen.....	59
3.4 Nachabscheider und Gesamtabscheidegrad .....	62
3.5 Numerische Lösung der Modellgleichungen.....	62
<b>4 Experimenteller Teil .....</b>	<b>64</b>
4.1 Versuchsanlage.....	64
4.1.1 Gesamtkonzept .....	64
4.1.2 Aerosolgenerierung.....	66
4.1.3 Gaskonditionierung.....	70

## VI Inhaltsverzeichnis

---

4.1.4 Zerstäubungseinrichtungen und Agglomerationszone .....	72
4.1.5 Tropfenabscheider .....	74
<b>4.2 Gravimetrische und naßchemische Messungen.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3 Drei-Wellenlängen-Extinktionsverfahren .....</b>	<b>77</b>
4.3.1 Einsatzbedingungen.....	77
4.3.2 Meßprinzip.....	78
4.3.3 Aufbau und Einsatz des Meßverfahrens .....	80
4.3.4 Sensitivitätsanalyse.....	82
4.3.5 Referenzmessungen .....	89
<b>5 Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>95</b>
<b>5.1 Aerosolerzeugung .....</b>	<b>95</b>
5.1.1 NH <sub>4</sub> Cl-Aerosole.....	95
5.1.2 HCl-Aerosole.....	98
5.1.3 Weitere Säureaerosole.....	101
5.1.4 SiO <sub>2</sub> -Staub.....	103
5.1.5 Vergleich der generierten mit technischen Aerosolen.....	103
5.1.6 Fazit der Aerosolerzeugung .....	105
<b>5.2 Aerosolwachstum durch Gassättigung.....</b>	<b>105</b>
5.2.1 Salzaerosole.....	105
5.2.2 Säureaerosole.....	108
5.2.3 Vergleich zwischen hygroskopischen und nicht hygroskopischen Aerosolen .....	112
<b>5.3 Aerosolwachstum durch Dampfzugabe.....</b>	<b>114</b>
<b>5.4 Aerosolabscheidung mit feinerstäubenden Düsen .....</b>	<b>118</b>
5.4.1 Tropfengrößenmessungen.....	118
5.4.2 Nachabscheider .....	120
5.4.3 Simulation der Zweiphasenströmung .....	125
5.4.4 Vergleich von experimentellen mit theoretischen Abscheidegraden .....	130
5.4.5 Vergleich Einstoff- und Zweistoffdüse .....	131
5.4.6 Einfluß der Düsenbetriebsparameter .....	133
5.4.7 Einfluß der Gasverweilzeit.....	138
5.4.8 Beitrag der einzelnen Mechanismen .....	139
5.4.9 Vergleich mit Messungen und Berechnungen aus der Literatur.....	143
<b>5.5 Aerosolabscheidung im Venturiwäscher.....</b>	<b>145</b>
<b>5.6 Energiebetrachtungen.....</b>	<b>146</b>
5.6.1 Energiebedarf zur Aerosolvergrößerung.....	146
5.6.2 Energiebedarf für die Abscheidung.....	148
5.6.3 Auslegungskriterien für Naßabscheider.....	150
<b>6 Zusammenfassung.....</b>	<b>154</b>
<b>Anhang A Herleitung des Ein-Gleichungsmodells (k-Modell).....</b>	<b>156</b>
<b>Anhang B Zusammenfassung und Normierung der Modellgleichungen.....</b>	<b>158</b>
A) Zusammenfassung der Modellgleichungen.....	158
B) Normierung der Modellgleichungen.....	160
<b>Anhang C Durchmesserdefinitionen .....</b>	<b>164</b>
<b>Anhang D Brechungsindizes der untersuchten Aerosolpartikeln .....</b>	<b>165</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>168</b>