

Dipl.-Ing. Dirk Eden, Dinslaken

# **Simulation von Rauchgassprühwäschern**

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **536**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Gleichgewichts- und Nichtgleichgewichtsstufenmodelle</b>	<b>4</b>
2.1 Das Gleichgewichtsstufenmodell . . . . .	4
2.2 Das Nichtgleichgewichtsstufenmodell . . . . .	6
<b>3 Modellierung eines Rauchgassprühwäschers</b>	<b>11</b>
3.1 Aufbau und Funktionsweise eines Rauchgassprühwäschers . . . . .	11
3.2 Modellierung eines Sprühwäschers . . . . .	14
3.2.1 Modellierung der Absorptionszone . . . . .	16
3.2.2 Modellierung des Sumpfes . . . . .	23
<b>4 Das Gleichungssystem zur Beschreibung einer Nichtgleichgewichtsstufe</b>	<b>26</b>
4.1 Materie- und Energiebilanzen . . . . .	26
4.2 Transportströme in den Filmen . . . . .	30
4.2.1 Grundlegende Gleichungen . . . . .	30
4.2.2 Berechnung der gasseitigen Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten . . . . .	33
4.2.3 Berechnung der flüssigkeitsseitigen Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten . . . . .	34
4.2.4 Berechnung der feststoffseitigen Stoffübergangskoeffizienten . . . . .	35
4.2.5 Berechnung der Tropfengeschwindigkeit . . . . .	37
4.2.6 Berechnung der Enhancement-Faktoren . . . . .	41
4.3 Phasen- und Reaktionsgleichgewichte . . . . .	43
4.3.1 Gleichungen in Termen der chemischen Potentiale . . . . .	43
4.3.2 Beziehungen für chemische Potentiale . . . . .	44
4.3.3 Die Gleichungen zur Berechnung der Phasen- und Reaktionsgleichgewichte . . . . .	46
4.3.4 Die Berechnung der Aktivitätskoeffizienten . . . . .	48
4.4 Zusammenstellung der Gleichungen . . . . .	49
4.5 Die Gleichungen für den Sumpf . . . . .	54

<b>5</b>	<b>Überprüfung des Modells für das thermodynamische Gleichgewicht</b>	<b>57</b>
5.1	Adiabate Luftbefeuchtung . . . . .	57
5.2	Vorwäscher der REA Scholven-F . . . . .	60
5.2.1	Beschreibung des Vorwäschers . . . . .	60
5.2.2	Vergleich mit den Gleichgewichtsrechnungen nach Luckas et al. . . . .	62
5.2.3	Der Übergang ins Gleichgewicht . . . . .	66
5.2.4	Gleichgewichtsrechnung für den Vorwäscher unter Berücksichtigung der Kreisfahrweise . . . . .	68
<b>6</b>	<b>Analyse eines Rauchgassprühwäschers</b>	<b>70</b>
6.1	Ergebnisse für den Referenzwäscher . . . . .	71
6.2	Variationsrechnungen für den Referenzwäscher . . . . .	77
6.2.1	Einfluß der Absorptionshöhe und des L/G-Verhältnisses . . . . .	77
6.2.2	Einfluß des Sumpf-pH-Wertes . . . . .	78
6.2.3	Einfluß des Feststoffmassenanteils im Sumpf . . . . .	79
6.2.4	Einfluß der SO <sub>2</sub> -Konzentration . . . . .	81
6.2.5	Einfluß der Rauchgasgeschwindigkeit . . . . .	82
6.2.6	Einfluß des mittleren Tropfendurchmessers . . . . .	85
6.2.7	Einfluß des Wandabscheidegrades . . . . .	86
6.2.8	Einfluß von Additiven . . . . .	87
6.3	Sensitivitätsanalyse für das Modell . . . . .	95
6.3.1	Einfluß des Stoffmengenanteils des festen Absorbens . . . . .	96
6.3.2	Einfluß der Fluor-Übersättigung . . . . .	97
6.3.3	Einfluß der SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -Konzentration . . . . .	99
6.3.4	Einfluß des Stoffübergangs . . . . .	101
6.3.5	Einfluß des mittleren CaCO <sub>3</sub> -Partikeldurchmessers . . . . .	104
6.3.6	Einfluß des mittleren Tropfendurchmessers . . . . .	106
6.3.7	Fazit der Sensitivitätsanalyse . . . . .	107
<b>7</b>	<b>Vergleich mit Daten realer Rauchgaswäscher</b>	<b>108</b>
7.1	Nichtgleichgewichtssimulation des Vorwäschers der REA Scholven-F . . . . .	108
7.2	Simulationsrechnungen für eine reale Rauchgasentschwefelungsanlage . . . . .	115
7.3	Einfluß der Rauchgasgeschwindigkeit – Vergleich mit gemessenen Daten . . . . .	123
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>125</b>
<b>A</b>	<b>Mehrkomponentendiffusion</b>	<b>128</b>
A.1	Folgerungen aus den Stefan-Maxwell-Gleichungen . . . . .	128
A.2	Berechnung der binären Diffusionskoeffizienten . . . . .	130

A.2.1	Diffusionskoeffizienten in Flüssigkeiten . . . . .	130
A.2.2	Diffusionskoeffizienten in Elektrolytlösungen . . . . .	132
A.2.3	Diffusionskoeffizienten in Gasen . . . . .	133
<b>B</b>	<b>Zusammenstellung benötigter Stoffdaten</b>	<b>137</b>
B.1	Bildungswerte, kritische Daten, Dampfdrücke und Wärmekapazitäten . . . . .	137
B.2	Abschätzung der Bildungswerte der Adipinsäure . . . . .	141
B.3	Berechnung der Flüssigkeitsenthalpien . . . . .	144
B.4	Die Oberflächenspannung des Wassers . . . . .	145
B.5	Stoffdaten von Wasser und Luft . . . . .	146
<b>C</b>	<b>Durchführung der Berechnungen</b>	<b>149</b>
C.1	Zusammenstellung der für die Berechnungen benötigten Daten . . . . .	149
C.2	Beschreibung des Programmablaufs . . . . .	151
<b>D</b>	<b>Generierung der Startwerte</b>	<b>153</b>
D.1	Startwerte für $L_{\text{Umlauf}}$ und die Suspensionsdichte . . . . .	154
D.2	Startwerte für die Gas-, Flüssigkeits- und Feststoffströme . . . . .	156
D.3	Berechnung der Elektrolyt-Dissoziationsgrade . . . . .	160
D.4	Startwerte für die Stoffmengenanteile an den Phasengrenzen . . . . .	162
D.5	Startwerte für die Temperaturen . . . . .	163
<b>E</b>	<b>Folgerungen aus den Atombilanzen</b>	<b>166</b>
E.1	Atombilanzen um den Flüssigkeitskern . . . . .	166
E.2	Atombilanzen um die Phasengrenzen . . . . .	168
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>170</b>