

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	v
1 Einleitung	1
1.1 Veranlassung	2
1.2 Vorgehensweise	3
2 Stand des Wissens	4
2.1 Rauchgase aus der Verbrennung von Abfällen	4
2.1.1 Hauptkomponenten – N_2 , CO_2 , H_2O , O_2	6
2.1.2 Schwefeloxide – SO_x	7
2.1.3 Chlorverbindungen – HCl , Cl_2	8
2.1.4 Fluorwasserstoff – HF	8
2.1.5 Stickstoffoxide – NO_x	9
2.1.6 Ammoniak – NH_3	10
2.1.7 Kohlenstoffmonoxid – CO	11
2.1.8 Partikel	11
2.2 Trockensorption mit Kalkhydrat	13
2.2.1 Verfahrenstechnische Einordnung	13
2.2.2 Grundlagen der Chemisorption	15
2.2.3 Eigenschaften von Kalkhydraten	18
2.2.4 Wesentliche Reaktionspfade	19
2.2.4.1 Konvertierung des Kalkhydrats	20
2.2.4.2 Chlorwasserstoff – HCl	21
2.2.4.3 Schwefeloxide – SO_x	22
2.2.4.4 Fluorwasserstoff – HF	23
2.2.4.5 Reaktivitätsreihenfolge	24
2.2.5 Einflussgrößen	27
2.2.5.1 Temperatur	27
2.2.5.2 SO_2 - und HCl -Konzentration	29
2.2.5.3 Wasserdampf	30
2.2.5.4 Kohlenstoffdioxid	31
2.2.5.5 Kohlenstoffmonoxid	32
2.2.5.6 Stickstoffoxide	33
2.2.5.7 Ammoniak	34

2.2.5.8	Fremdpartikel und Additive	34
3	Laboruntersuchungen	36
3.1	Laboranalytische Charakterisierung der Einsatzstoffe	36
3.1.1	Kalkhydrate	36
3.1.2	Flugstaub	39
3.2	Untersuchung der Dehydratisierung von Kalkhydrat	42
3.2.1	Thermogravimetrie	43
3.2.1.1	N ₂ -Atmosphäre	43
3.2.1.2	Einfluss der Aufheizrate	44
3.2.1.3	O ₂ -Atmosphäre	45
3.2.1.4	H ₂ O-Atmosphäre	46
3.2.1.5	Halteversuche	46
3.2.2	BET-Oberfläche	47
3.2.3	Rasterelektronenmikroskop	48
3.3	Untersuchung der Carbonatisierung von Kalkhydrat	50
3.3.1	Thermogravimetrie	50
3.3.1.1	CO ₂ -Atmosphäre	50
3.3.1.2	CO ₂ -/H ₂ O-Atmosphäre	52
3.3.1.3	Halteversuche	53
3.3.2	BET-Oberfläche	54
3.3.3	Rasterelektronenmikroskop	54
4	Technikumsuntersuchungen	56
4.1	Versuchsanlage	56
4.1.1	Gaskonditionierung	56
4.1.2	Wirbelschichtreaktor	60
4.1.3	Kühlung und Filtration	61
4.2	Methodik	62
4.2.1	Datenerfassung	62
4.2.2	Versuchsdurchführung	64
4.2.3	Auswertung	66
4.3	Ergebnisse	67
4.3.1	Einfluss der Temperatur	68
4.3.2	Einfluss der Kalkhydrateigenschaften	71
4.3.3	Einfluss der SO ₂ -Konzentration	75
4.3.4	Einfluss der HCl-Konzentration	76
4.3.5	Einfluss der simultanen SO ₂ -/HCl-Abscheidung	78
4.3.6	Einfluss der H ₂ O-Konzentration	81

4.3.7	Einfluss der CO ₂ -Konzentration	83
4.3.7.1	SO ₂ -Abscheidung	83
4.3.7.2	Variation der CO ₂ -Konzentration, Einfluss von H ₂ O	85
4.3.7.3	Kalkhydrateigenschaften	86
4.3.7.4	HCl-Abscheidung	88
4.3.8	Einfluss der CO-Konzentration	89
4.3.9	Einfluss der NO-Konzentration	89
4.3.10	Einfluss der NH ₃ -Konzentration	91
4.3.11	Einfluss von Flugstaub/Fremdpartikeln	92
4.3.12	Vergleichende Versuche zum Stand der Technik	95
4.4	Bewertung	99
5	Großtechnische Untersuchungen in der MKVA Krefeld	100
5.1	Versuchsanlage	101
5.2	Methodik	105
5.2.1	Datenerfassung	105
5.2.2	Versuchsdurchführung	106
5.2.3	Auswertung	107
5.3	Ergebnisse	108
5.3.1	Betrieb der Versuchsanlage	108
5.3.2	Charakterisierung der Rohgase	109
5.3.3	Abscheidung von HCl und SO ₂	113
5.3.4	Einfluss der Temperatur	116
5.3.5	Einfluss der BET-Oberfläche	118
5.3.6	Einfluss der Rohgaszusammensetzung	119
5.4	Bewertung	120
6	Großtechnische Untersuchungen im EBS-Kraftwerk Weener	121
6.1	Rauchgasreinigungsanlage	122
6.1.1	Stufe 1: Economizer	124
6.1.2	Stufe 2: Reaktor 1 und Filter 1	124
6.1.3	Stufe 3: Reaktor 2 und Filter 2	125
6.2	Methodik	126
6.2.1	Datenerfassung	126
6.2.1.1	Gaszusammensetzung	128
6.2.1.2	Reststoffprobenahme	129
6.2.1.3	Betriebsdaten	130
6.2.2	Versuchsdurchführung	131
6.2.3	Auswertung	131

6.3	Ergebnisse	134
6.3.1	Anlagenbetrieb	135
6.3.2	Trockensorption	139
6.3.2.1	Gasanalytik	139
6.3.2.2	Stöchiometrische Faktoren	142
6.3.2.3	Feststoffanalytik	143
6.4	Bewertung	145
7	Zusammenfassung und Ausblick	147
	Literatur	152
	Abbildungsverzeichnis	164
	Tabellenverzeichnis	169