

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Formelzeichen	VIII
1. Einleitung	1
1.1 Motivation und Aufgabenstellung	3
2. Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen zur Biomasseverbrennung	5
2.1 Treibhausproblematik	5
2.1.1 CO ₂ - und N ₂ O-Emissionen bei der Biomasseproduktion	7
2.1.2 Treibhausgasemissionen bei der Miscanthuskette	9
2.2 Potentiale der verschiedenen Biomassen	11
2.2.1 Stroh	11
2.2.2 Resthölzer aus Forstwirtschaft und holzverarbeitender Industrie ..	13
2.2.3 Speziell angebaute Energiepflanzen	13
2.3 Energieträger aus Biomassen	15
2.3.1 Gasförmige biogene Brennstoffe	15
2.3.2 Flüssige Energieträger	17
2.3.3 Feste Energieträger	18
2.4 Verbrennungssysteme für feste Brennstoffe	19
2.4.1 Investitionskosten von Biomasseverbrennungsanlagen	20
2.4.2 Großtechnische Anwendung der Biomasseverbrennung in Europa	21
2.5 Diskussion des Kapitels	24
3. Chemischer und physikalischer Aufbau der Biomasse im Vergleich zu Kohle .	26
3.1 Kurz- und Elementaranalyse	26
3.2 Molekularer Aufbau	28
3.3 Entgasungsverhalten	30
3.4 N-, S-, Cl-Bindungen	33
3.4.1 Stickstoff	33
3.4.2 Schwefel	35
3.4.3 Chlor	35
3.5 Aschezusammensetzungen	35
3.6 Stickoxidentstehung	38
3.7 Verbrennungsverhalten	40
4. Problemstellung, Lösungsansätze und Versuchsprogramm	43
4.1 Diskussion der Literaturrecherche	43
4.2 Technik der Staubverbrennung	43
4.3 Beschreibung der Versuchsanlage	45
4.3.1 Kohlenmahl- und Dosieranlage	45
4.3.2 Brennkammer	46
4.3.3 Brenner	49
4.3.4 Biomasseaufbereitung und Dosierung	50
4.3.4.1 Mahlen der Biomasse	50
4.3.4.2 Ergebnisse der Mahlversuche	51
4.3.4.3 Dosieren der Biomasse	53
4.4 Meßtechnik	55
4.5 Durchführung und Auswertung der Messungen	57

5. Versuchsergebnisse	60
5.1 Biomasse/Erdgas-Mischungen	61
5.1.1 Ausbrand und CO-Emissionen	62
5.1.2 NO _x -Emissionen	63
5.2 Reine Biomasseflammen	66
5.2.1 CO-Emissionen und Ausbrand	67
5.2.2 Variation des Gesamtluftüberschusses	70
5.2.3 Einfluß der Brennerkonfiguration	71
5.2.4 Rauchgasrezirkulation	73
5.2.5 Schleifstaubflammen mit Luftstufung im Feuerraum	74
5.2.6 Luftstufung mit unterschiedlichen Biomasseflammen	78
5.3 Kohle/Biomasse-Flammen	82
5.3.1 NH ₃ -Freisetzung	82
5.3.2 Verbrennungsverhalten	83
5.3.2.1 Mischung vor dem Brenner	84
5.3.2.2 Mischung in der Brennermuffel	91
5.3.2.3 Mischung in der Brennkammer	94
5.3.3 Emissionsrelevante Untersuchungen der Mitverbrennung	95
5.3.3.1 Schwefelbilanzen	95
5.3.3.2 CO- und Kohlenwasserstoffemissionen	99
5.3.3.3 N ₂ O-Emissionen	101
5.3.3.4 HCl und PCDD/F-Emissionen	102
5.3.3.5 NO _x -Emissionen bei der ungestuften Verbrennung	104
5.4 Primärmaßnahmen zur NO _x -Minderung bei der Mitverbrennung	108
5.4.1 Luftstufung der vorgemischten Brennstoffe	108
5.4.1.1 Einfluß des Kohle/Biomasse-Verhältnisses auf die NO _x -Minderung	109
5.4.1.2 Einfluß der Ausmahlung auf die NO _x -Minderung	110
5.4.1.3 Einfluß des Stickstoff- und Wassergehalts auf die NO _x -Emission	111
5.4.2 Profilmessungen bei der Luftstufung	113
5.4.3 Einfluß der Brennerkonfigurationen auf die NO _x -Minderung bei der Luftstufung	116
5.4.4 Brennstoffstufung	117
5.4.5 Vergleich der unterschiedlichen Primärmaßnahmen	119
5.5 Verschlackungsneigung	120
5.5.1 Ascheschmelzpunkte	122
5.5.2. Chemische Analyse der Aschen	123
6. Diskussion der Ergebnisse	126
6.1 Eigene Versuche	126
6.1.1 Mahlenergie, Korngröße und Reaktivität	126
6.1.2 Ausbrand und CO	131
6.1.3 Reaktionen des Stickstoffs	133
6.1.4 Schwefel und Chlor	136
6.1.5 Abbrandverhalten	136
6.2 Vergleich mit anderen Anlagen	137
6.2.1 Ausbrand und CO	138
6.2.2 NO _x -Emissionen	140
6.2.3 SO ₂ -Emissionen	142
6.2.4 HCl- und Dioxinmissionen	142
6.2.5 Verbrennungsverlauf	143
6.2.6 Verschlackungsneigung	143

6.3 Einbindung eines Biomasseverbrennungsmodells in ein bestehendes Berechnungsprogramm zur Kohleverbrennung	144
6.3.1 Adaption des Kohlemodells auf Biomasseverbrennung	144
6.3.2 Ergebnisse der Berechnung	146
7. Zusammenfassung und Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis	149
Literaturverzeichnis	154