

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	1
Abkürzungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	7
Kurzfassung	11
1 Einleitung	15
1.1 Motivation	15
1.2 Problemstellung	17
1.3 Inhalt und Ziele	18
2 Stand der Technik und des Wissens	21
2.1 Zugelassene Brennstoffe gemäß der 1. BImSchV	21
2.2 Immissionsschutz- und Effizienzanforderungen	23
2.3 Verbrennungstechnische Grundlagen und Schadstoffe	27
2.3.1 Thermochemische Umwandlung von Festbrennstoffen	27
2.3.2 Emissionen und Emissionsminderungsstrategien	30
2.4 Regelung von Biomasseheizkesseln	44
2.4.1 Herkömmliche Regelung von Heizkesseln	44
2.4.2 Forschungsstand zur regelungstechnischen Optimierung	50
2.5 Einflussgrößen auf den Betrieb von Biomasseheizkesseln	53
2.6 Überwachung von Biomasseheizkesseln	56
2.6.1 Herkömmliche Überwachung von Biomasseheizkesseln	56
2.6.2 Forschungsstand zur permanenten Überwachung	60
3 Methodik und Vorgehen für die Durchführung der Entwicklungsarbeiten	64
3.1 Methode für die Beschreibung der Verbrennungsqualität	66
3.1.1 Funktionsprinzip der O ₂ /CO _e -Sonde	69
3.1.2 Sensitivitätsanalyse und Kalibrierung mit der O ₂ /CO _e -Sonde	71
3.2 Methode zur Regelung des Verbrennungsprozesses	75
3.3 Methode zur Überwachung des Betriebs	81

4	Entwickelte Software zur Regelung und Überwachung von Heizkesseln	86
4.1	Baustein zur Regelung des Verbrennungsprozesses	89
4.2	Baustein für die Emissions- und Betriebsüberwachung	94
4.2.1	Berechnung der Zusammensetzung vom Abgas	94
4.2.2	Erkennung der Betriebsphasen	96
4.2.3	Bewertung der Verbrennungsqualität	98
4.2.4	Systematische Analyse von Betriebsfehlern	99
4.3	Baustein für die Betriebsbewertung	107
5	Erprobung des Regelungs- und Überwachungssystems	113
5.1	Versuchstechnische Einrichtung	113
5.1.1	Verbrennungsversuchsanlagen und Prüfstand	115
5.1.2	Mess- und Datenerfassungssystem	118
5.1.3	Technik des Regelungs- und Überwachungssystems	120
5.2	Verwendete Brennstoffe	122
5.3	Versuchsplanung	123
5.4	Erprobung auf dem Prüfstand	125
5.4.1	Ergebnisse von der Erprobung der Regelung	125
5.4.2	Ergebnisse von der Erprobung des Überwachungssystems	140
5.5	Praxiserprobung des Regelungs- und Überwachungssystems	152
5.5.1	Ergebnisse aus der Praxiserprobung der Regelung	156
5.5.2	Ergebnisse aus der Praxiserprobung der Überwachung	158
6	Bewertung des Regelungs- und Überwachungssystems	174
6.1	Bewertung des Systems aus technischer Sicht	174
6.2	Bewertung des Systems aus ökologischer Sicht	175
6.3	Bewertung des Systems aus ökonomischer Sicht	177
6.4	Bewertung des Systems aus sozialer Sicht	178
7	Fazit und Ausblick	180
	Literaturverzeichnis	185
	Anhang	197