

Department für Biogene Rohstoffe und Technologie der Landnutzung
Lehrstuhl für Landtechnik der Technischen Universität München

Umweltrelevante Einflüsse bei der thermischen Nutzung fester Biomasse in Kleinanlagen

Schadstoffemissionen, Aschequalität und Wirkungsgrad

Thomas Launhardt

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät
Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.rer.hort. Dr.rer.hort.habil. J. Meyer
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.agr. Dr.h.c.(AE Keszthely) J. Schön
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Hein

Die Dissertation wurde am 21.01.2002 bei der
Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät
Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
am 08.07.2002 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Seite:

1	Einleitung	1
1.1	Hinführung	1
1.2	Problemstellung	2
2	Grundlagen und Stand der Technik	4
2.1	Biogene Festbrennstoffe	4
2.1.1	Elementarzusammensetzung	6
2.1.2	Brenntechnische Merkmale	10
2.1.3	Physikalische Merkmale	15
2.2	Festbrennstoffverbrennung	18
2.2.1	Vorgänge bei der Verbrennung	19
2.2.2	Abbrandverlauf bei Biomasse	20
2.2.3	Einfluss der Verbrennungstemperatur	21
2.2.4	Ansätze für eine vollständige Verbrennung	23
2.3	Emissionsentstehung bei der Biomasseverbrennung	25
2.3.1	Staub	25
2.3.2	Kohlenstoffmonoxid	28
2.3.3	Organische Stoffe	29
2.3.3.1	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	31
2.3.3.2	Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -dioxine und Dibenzofurane	33
2.3.3.3	Polychlorierte Benzole und Phenole	36
2.3.4	Chlorwasserstoff	37
2.3.5	Stickstoffoxide	37
2.3.6	Schwefeloxide	40
2.3.7	Schwermetalle	41
2.4	Rückstände der Biomasseverbrennung	43
2.4.1	Definition der Rückstandsfraktionen	43
2.4.2	Qualitätsbestimmende Inhaltsstoffe	44
2.5	Kleinfeuerungsanlagen für biogene Festbrennstoffe	45
2.5.1	Energetische Anlagenkenngößen	46
2.5.2	Merkmale moderner Feuerungstechnik	47
2.5.3	Systematik der Kleinfeuerungsanlagen	49
2.5.4	Besonderheiten von Halmgutfeuerungen	51
3	Zielsetzung	54
4	Methodisches Vorgehen	57
4.1	Auswahl der Feuerungsanlage	57
4.2	Bereitstellung der Versuchsbrennstoffe	60

4.3	Versuchsanstellung	62
4.3.1	Versuchsaufbau.....	62
4.3.2	Mess- und Analyseverfahren	63
4.3.2.1	Feuerungs- und Emissionsmessgrößen.....	63
4.3.2.2	Brennstoff- und Aschemessgrößen.....	75
4.4	Versuchsdurchführung und Auswertung.....	81
4.4.1	Anlageninbetriebnahme und Vorversuche	81
4.4.2	Durchführung der Verbrennungsversuche	82
4.4.3	Brennstoff- und Ascheprobenahme	83
4.4.4	Versuchsauswertung	84
4.5	Versuchsprogramm	88
5	Vergleich der Versuchsbrennstoffe	92
5.1	Physikalische Merkmale	92
5.2	Chemisch-stoffliche Merkmale.....	93
6	Ergebnisse der Verbrennungsversuche.....	96
6.1	Einflüsse auf die Emissionen von Kohlenstoffmonoxid, Staub, Gesamtkohlenstoff und Stickstoffoxiden.....	96
6.1.1	Einfluss der Brennstoffart und der Aufbereitungsform	96
6.1.2	Einfluss des Wassergehalts im Brennstoff.....	102
6.1.3	Einfluss der Heizlast	104
6.2	Einflüsse auf die Partikelgrößenverteilung des Staubes.....	106
6.3	Einflüsse auf die Gehalte aromatischer Kohlenwasserstoffe.....	114
6.3.1	Gehalte im Abgas	114
6.3.2	Gehalte in der Feuerraumasche	118
6.3.3	Gehalte in der Wärmeübertrager- und Kaminasche.....	122
6.4	Einflüsse auf die Gehalte chlorhaltiger Schadstoffe	125
6.4.1	Gehalte im Abgas	125
6.4.2	Gehalte in der Feuerraumasche	135
6.4.3	Gehalte in der Wärmeübertrager- und Kaminasche.....	139
6.5	Einflüsse auf den Wirkungsgrad	142
6.6	Schwermetalle in Abgas und Aschen	146
6.6.1	Gehalte	146
6.6.2	Einbindungsgrade in Aschen	150
6.7	Pflanzennährstoffe in Aschen	153
6.7.1	Gehalte	153
6.7.2	Einbindungsgrade	155
7	Gesamtbewertung	157
7.1	Schadstoffemissionen.....	157
7.2	Aschequalität	163

7.3 Wirkungsgrad	166
8 Schlussfolgerungen.....	167
9 Zusammenfassung.....	169
10 Summary	173
11 Quellenverzeichnis.....	176

Anhang:

A Analysemethoden für PCDD/F, PCBz, PCPh und PAK.....	185
B PCDD/F-, PCBz-, PCPh-, PAK-Standardmischungen	188
C Wiederfindungsraten der PCDD/F-Spikestandards	190
D Einstellungen an der Feuerungsanlage	191
E Ergänzende Korrelationsanalysen.....	192

Maßeinheiten und Umrechnungsfaktoren	194
---	------------