

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis xv

1 Einleitung 1

 1.1 Zielstellung 3

 1.2 Aufbau 4

2 Theoretische Grundlagen 9

 2.1 Holz als biogener Festbrennstoff..... 9

 2.1.1 Chemische Zusammensetzung 10

 2.1.1.1 Hauptelemente..... 10

 2.1.1.2 Nebenelemente 13

 2.1.1.3 Spurenelemente 17

 2.1.2 Brennstofftechnische Eigenschaften 18

 2.1.2.1 Wassergehalt 18

 2.1.2.2 Aschegehalt 19

 2.1.3 Physikalisch-mechanische Eigenschaften..... 21

 2.1.3.1 Stüchtigkeit..... 21

 2.1.3.2 Partikelgrößenverteilung 23

 2.2 Verbrennung holzartiger Festbrennstoffe 23

 2.2.1 Thermochemische Umwandlung..... 24

 2.2.1.1 Trocknung/Aufheizung 25

 2.2.1.2 Pyrolytische Zersetzung 26

 2.2.1.3 Vergasung..... 27

 2.2.1.4 Oxidation 27

 2.2.2 Gasförmige Emissionen 28

 2.2.2.1 Wasser 29

 2.2.2.2 Kohlenstoffdioxid 30

 2.2.2.3 Kohlenstoffmonoxid 30

 2.2.2.4 Stickstoffoxide 30

 2.2.2.5 Schwefeloxide 31

 2.2.3 Partikelförmige Emissionen 32

2.2.3.1 Organische Partikelemissionen	32
2.2.3.2 Anorganische Partikelemissionen	34
2.2.4 Feste Verbrennungsrückstände	36
2.2.4.1 Nicht flüchtige Elemente.....	36
2.2.4.2 Leicht flüchtige Elemente	39
2.3 (Brennstoff-)Additivierung.....	42
2.3.1 Aluminium(-silikat)-basierte Additive.....	44
2.3.2 Calcium-basierte Additive.....	45
2.3.3 Schwefel-basierte Additive	47
2.3.4 Phosphor-basierte Additive	48
2.3.5 Sonstige Additive	49
3 Material und Methodik	51
3.1 Material	51
3.1.1 Holzhackschnitzel	51
3.1.2 Additive	51
3.2 Methodik.....	51
3.2.1 Analyse der Holzhackschnitzel	52
3.2.1.1 Chemische Zusammensetzung	52
3.2.1.2 Brennstofftechnische Eigenschaften	53
3.2.1.3 Physikalisch-mechanische Eigenschaften.....	54
3.2.2 Analyse der Additive.....	54
3.2.2.1 Chemische Zusammensetzung	54
3.2.2.2 Physikalisch-mechanische Eigenschaften.....	54
3.2.3 Analyse der Laboraschen	54
3.2.3.1 Thermodynamische Gleichgewichtsberechnungen	55
3.2.3.2 Wiederfindungsrate	57
3.2.3.3 Kristalline Phasenanalyse.....	57
3.2.3.4 Aschesinterverhalten	58
3.2.4 Analyse der Staubemissionen.....	58
3.2.4.1 Gravimetrische Bestimmung.....	60
3.2.4.2 Chemische Zusammensetzung	61

3.2.4.3 Partikelgrößenanzahlverteilung.....	61
3.2.5 Analyse der Kohlenstoffmonoxidemissionen	62
3.2.6 Analyse der Feuerraumaschen	62
3.2.6.1 Chemische Zusammensetzung	63
3.2.6.2 Kristalline Phasenanalyse.....	63
4 Versuchsplanung – Labortechnische Untersuchungen	65
4.1 Labortechnische Untersuchung I – Kaolinmenge und -eigenschaften...	65
4.2 Labortechnische Untersuchung II – Additivart	67
5 Ergebnisse und Diskussion – Labortechnische Untersuchungen	69
5.1 Labortechnische Untersuchung I – Kaolinmenge und -eigenschaften...	69
5.1.1 Analyse der Holzhackschnitzel	69
5.1.1.1 Chemische Zusammensetzung	69
5.1.1.2 Brennstofftechnische Eigenschaften	71
5.1.1.3 Physikalisch-mechanische Eigenschaften.....	72
5.1.2 Analyse der Additive.....	74
5.1.2.1 Chemische Zusammensetzung.....	74
5.1.2.2 Physikalisch-mechanische Eigenschaften.....	75
5.1.3 Analyse der Laboraschen	77
5.1.3.1 Wiederfindungsrate	77
5.1.3.2 Kristalline Phasenanalyse.....	81
5.1.3.3 Aschesinterverhalten	84
5.1.4 Zwischenfazit	86
5.2 Labortechnische Untersuchung II – Additivart	87
5.2.1 Analyse der Holzhackschnitzel	87
5.2.1.1 Chemische Zusammensetzung	88
5.2.1.2 Brennstofftechnische Eigenschaften	89
5.2.2 Analyse der Additive.....	90
5.2.2.1 Chemische Zusammensetzung.....	90
5.2.2.2 Physikalisch-mechanische Eigenschaften.....	91
5.2.3 Analyse der Laboraschen	92
5.2.3.1 Thermodynamische Gleichgewichtsberechnungen	93

5.2.3.2	Wiederfindungsrate	103
5.2.3.3	Kristalline Phasenanalyse.....	106
5.2.4	Zwischenfazit	110
6	Versuchsplanung – Technikumsmessreihen	113
6.1	Technikumsmessreihe I – Kaolineigenschaften	113
6.2	Technikumsmessreihe II – Additivart	115
7	Ergebnisse und Diskussion – Technikumsmessreihen	117
7.1	Technikumsmessreihe I – Kaolineigenschaften	117
7.1.1	Analyse der Holzackschnitzel	117
7.1.1.1	Chemische Zusammensetzung	117
7.1.1.2	Brennstofftechnische Eigenschaften	119
7.1.2	Analyse der Additive	119
7.1.2.1	Chemische Zusammensetzung	120
7.1.2.2	Physikalisch-mechanische Eigenschaften	121
7.1.3	Analyse der Staubemissionen.....	122
7.1.3.1	Gravimetrische Bestimmung	123
7.1.3.2	Chemische Zusammensetzung	125
7.1.3.3	Emissionsminderung – Gesamtstaub und Kalium	128
7.1.3.4	Partikelgrößenanzahlverteilung.....	130
7.1.3.5	Emissionsminderung – Ultrafeiner Feinstaub.....	133
7.1.4	Analyse der Kohlenstoffmonoxidemissionen	135
7.1.5	Analyse der Feuerraumaschen	138
7.1.5.1	Chemische Zusammensetzung	138
7.1.5.2	Kristalline Phasenanalyse.....	140
7.1.6	Zwischenfazit	142
7.2	Technikumsmessreihe II – Additivart	145
7.2.1	Analyse der Holzackschnitzel	145
7.2.1.1	Chemische Zusammensetzung	145
7.2.1.2	Brennstofftechnische Eigenschaften	147
7.2.2	Analyse der Additive	148
7.2.2.1	Chemische Zusammensetzung	148

7.2.2.2 Physikalisch-mechanische Eigenschaften.....	148
7.2.3 Analyse der Staubemissionen.....	148
7.2.3.1 Gravimetrische Bestimmung.....	149
7.2.3.2 Chemische Zusammensetzung.....	153
7.2.3.3 Emissionsminderung – Gesamtstaub und Kalium	157
7.2.3.4 Partikelgrößenanzahlverteilung.....	161
7.2.3.5 Emissionsminderung – Ultrafeiner Feinstaub.....	165
7.2.4 Analyse der Kohlenstoffmonoxidemissionen	167
7.2.5 Analyse der Feuerraumaschen	171
7.2.5.1 Chemische Zusammensetzung.....	171
7.2.5.2 Kristalline Phasenanalyse.....	175
7.2.6 Zwischenfazit	179
8 Schlussbetrachtung.....	183
8.1 Zusammenfassung	184
8.1.1 Labortechnische Untersuchungen	185
8.1.2 Technikumsmessungen	188
8.2 Ausblick.....	193
9 Literaturverzeichnis	195