

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung / Abstract	i
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xv
Symbolverzeichnis	xvii
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Technologische Entwicklung der Zementherstellung	3
2.2 Aktuelle Herausforderungen der Zementherstellung	10
2.3 Problemstellung der energetischen Optimierung	15
3 Aufstellung eines Referenzmodells	19
3.1 Aufstellung der Massenbilanzen	23
3.2 Aufstellung der Energiebilanzen	27
3.3 Festlegung der Randbedingungen	31
3.4 Ermittlung des Referenzbetriebspunktes	32
3.4.1 Berechnung des Rohmehlbedarfs	33
3.4.2 Wärmeverlust vom Drehrohrofen	36
3.4.3 Strahlungsbedingter Wärmeverlust vom Drehrohrofen	39
3.4.4 Konvektiver Wärmeverlust vom Drehrohrofen	40
3.5 Schlussfolgerung zur Modellaufstellung	43
4 Abwärmenutzung in der Ofenlinie	45
4.1 Abwärmenutzung vom Drehrohrofen	45
4.2 Abwärmenutzung im Klinkerkühler	50
4.2.1 Untersuchung des Kühlverhaltens ohne Abluftrezirkulation	51
4.2.2 Untersuchung des Kühlverhaltens mit Abluftrezirkulation	54
4.3 Schlussfolgerung zur Nutzung der Abwärme in der Ofenlinie	59
5 Minderung der Schadstoffentwicklung	61
5.1 Modellierung der Verbrennungsreaktion im Kalzinator	62
5.2 Modellierung der Kalzination	66
5.3 Schlussfolgerung zur Minderung der Schadstoffentwicklung	75
6 Erhöhung der Durchsatzrate im Vorwärmerturm	77
6.1 Rahmenbedingungen des Abscheideprozesses	78
6.2 Ermittlung der Zyklonleistung im Referenzzustand	80
6.3 Variation des Durchsatzes und der Tauchrohrlänge	83
6.4 Schlussfolgerung zur Erhöhung der Durchsatzrate im Vorwärmerturm	87

7	Entwicklung des statistischen Modells des Zementmahlprozesses	89
7.1	Ermittlung der Einflussgrößen auf Basis der Messdaten	92
7.2	Anwendung der linearen Funktion zur Prozessbeschreibung	95
7.3	Nichtlineare Ansätze zur Prozessbeschreibung	100
7.3.1	Anwendung der Potenzfunktion	100
7.3.2	Anwendung des Kolmogorow-Gabor Polynoms	102
7.4	Schlussfolgerung zur Modellierung des Zementmahlprozesses	105
8	Zusammenfassung und Ausblick	107
A	Erläuterung der Energiebilanzen	113
B	Abwärmeleistung des Drehrohrofens	117
B.1	Wärmeübergang durch gemischte Konvektion	117
C	Geometrie des Kalzinators	119
D	Erläuterung der Anwendung von statistischen Methoden	121
D.1	Korrelationsanalyse der Einflussgrößen	121
D.2	Signifikanztest der Einflussgrößen der Regression	122
D.3	Signifikanztest der Regression	124
D.4	Programmablaufpläne	126
D.5	Messdaten zur Überführung des spezifischen Energiebedarfs	129
	Literaturverzeichnis	131
	Unveröffentlichte studentische Arbeiten	137