

vdz.

Dipl.-Ing. Kristina Koring

**CO₂-Emissionsminderungspotential und
technologische Auswirkungen der Oxyfuel-
Technologie im Zementklinkerbrennprozess**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Problemstellung und Zielsetzung	3
3	Stand der Forschung	5
3.1	Brennverfahren	5
3.2	Brenngutreaktionen	7
3.3	Die Oxyfuel-Technologie	9
3.3.1	Entwicklungsstand in der Kraftwerksindustrie	10
3.3.2	Entwicklungs- und Erkenntnisstand in der Zementindustrie	12
3.3.2.1	Sauerstoffanreicherung	12
3.3.2.2	Oxyfuel-Technologie	14
3.3.2.3	Konzepte für die Einbindung der Oxyfuel-Technologie	14
3.3.2.4	Allgemeine Anlagenkomponenten der Oxyfuel-Technologie	16
4	Einfluss des Oxyfuel-Verfahrens auf die Materialeigenschaften	19
4.1	Ausgangsstoffe	19
4.1.1	Analysemethoden	19
4.1.2	Charakterisierung der Ausgangsstoffe	21
4.1.2.1	Ofenmehle	21
4.1.2.2	Synthetische Klinker	22
4.2	Versuchsprogramm	23
4.2.1	Entsäuerung des Kalksteins	23
4.2.2	Klinkerphasenbildung	24
4.2.2.1	Laborklinkerherstellung	24
4.2.2.2	Herstellung von Zementen aus Laborklinkern	26
4.3	Einfluss auf die Entsäuerungsreaktion	26
4.3.1	Ergebnisse und Bewertung	26
4.3.2	Ermittlung von Reaktionsparametern zur Modellimplementierung	28
4.4	Einfluss auf die Klinkerphasenbildung	31
4.4.1	Chemische Zusammensetzung	32
4.4.2	Mineralogische Zusammensetzung	32
4.4.3	Mikroskopische Gefügezusammensetzung	34
4.4.4	Eigenschaften des Laborklinkers im Vergleich zum technischen Klinker	36
4.4.5	Erstarrungsverhalten	37
4.4.6	Druckfestigkeitsentwicklung	42
4.4.7	Schlussfolgerung	44
5	Grundkonzept und energetische Aspekte der Oxyfuel-Anlagenschaltung	46
5.1	Anlagenkonzept eines Zementwerkes im Oxyfuel- Betrieb	46
5.2	Energetische Aspekte	48
5.2.1	Rohmaterialtrocknung	49
5.2.2	Stromerzeugung mit Abwärme	52

5.2.3	Generelle Energiebilanz	52
6	Einfluss des Oxyfuel-Verfahrens auf den Betrieb einer Drehofenanlage	54
6.1	Methode	54
6.1.1	Mathematisches Modell des Zementklinkerbrennprozesses	54
6.1.2	Modellerweiterung um die Oxyfuel- Komponenten	58
6.1.2.1	Erweiterung der Gaszusammensetzung	58
6.1.2.2	Abgasrückführung	59
6.1.2.3	Kühlermodifikation	60
6.1.2.4	Wärmeverschiebungsanlage	61
6.1.3	Referenzanlage	64
6.1.4	Simulationsstudie und Annahmen	66
6.2	Ergebnisse der Simulationsstudie	70
6.2.1	Betriebstechnische Anpassungen bei Bestandsanlagen (Szenario 1-3)	70
6.2.1.1	Auslegung einer Ofenanlage nach BAT-Standard	70
6.2.1.2	Auslegung der Ofenanlage mit Einsatz alternativer Brennstoffe	82
6.2.1.3	Auslegung einer Ofenanlage nach gegenwärtigem Standard	86
6.2.2	Prozessauslegung mit anlagentechnischen Anpassungen (Szenario 4 - 5)	88
6.2.2.1	Rezirkulationsrate	88
6.2.2.2	Ofenbetrieb und thermischer Energiebedarf	89
6.2.2.3	Abgaszusammensetzung	92
6.2.2.4	Klinkerphasenbildung	93
6.2.2.5	Energetische Optimierung	94
6.2.2.6	Feuchte Abgasrezirkulation	97
6.2.2.7	Anlagentechnische Modifikationen	101
6.2.3	Schlussfolgerung	102
7	Wirtschaftliche und technische Potentiale sowie Grenzen eines Oxyfuel-Zementwerkes	106
7.1	Bewertung der Umsetzbarkeit	106
7.2	Risiken	107
7.3	Wirtschaftliche Betrachtung	108
8	Diskussion	113
8.1	Diskussion der Methode	113
8.2	Diskussion der Ergebnisse	113
8.3	Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu weiteren Abtrenntechnologien	115
9	Zusammenfassung	118
10	Verzeichnis der Formelzeichen und Indizes	122
11	Literaturverzeichnis	123
12	Anhang	130