

MASTERARBEIT



VERWERTUNG DER FILTERASCH E AUS EINER WIRBELSCHICHTFEUERUNG

Scheikl Florian

Vorgelegt am
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Projektentwicklung und Projektmanagement

Betreuer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck

Mitbetreuender Assistent
Dipl.-Ing. Wolfgang Lang

Graz, am 22. März 2011

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

STATUARY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Masterarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck, Herrn Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Josef Tritthart, Herrn Ao.Univ.-Prof. Dr.phil Dietmar Klammer und Dipl.-Ing. Wolfgang Lang.

Die Arbeit ermöglicht hat mir durch die Beauftragung Herr Manfred Kriechbaum von der EEVG in Steyrermühl. Auch bei Ihm möchte ich mich bedanken.

Bei meiner Freundin und meiner Familie möchte ich mich für die persönliche Unterstützung während der gesamten langen Ausbildungszeit bedanken.

Besonderer Dank gilt auch Herrn RA Dr.-Ing. Helmuth Duve, für viel Geduld und viele anregende und motivierende Gespräche.

Graz, am 22.03.2011

(Unterschrift des Studenten)

KURZFASSUNG

Aus dem Rauchabgasstrom kalorischer Kraftwerke abgeschiedene Filteraschen werden seit ca. 50 Jahren erfolgreich im Bauwesen als Haupt- und Nebenbestandteil von Baustoffen eingesetzt. Die spezifischen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Aschen verleihen im Speziellen, aber nicht ausschließlich, dem wichtigsten aller Baustoffe, dem Beton, besondere Qualitätsmerkmale. Bei den eingesetzten Aschen handelt es sich vorwiegend um Filteraschen aus Steinkohlenstaubfeuerungen.

Die in dieser Arbeit diskutierte Asche stammt aus einer mit Produktionsrückständen aus der Papierindustrie befeuerten Wirbelschichtfeuerung. Diese verfahrenstechnisch, physikalisch und chemisch vollkommen unterschiedliche Konstellation hat ein gänzlich andersartiges Produkt als Ergebnis. Die Analyse nach chemischen, physikalischen, mineralogischen und baustofftechnologischen Gesichtspunkten und eine mit Hilfe der Ergebnisse dieser Untersuchungen vorgenommene Klassifizierung des Stoffes hinsichtlich möglicher Einsatzarten im Bauwesen, waren das Ziel dieser Arbeit.

Die Ergebnisse der Untersuchungen liefern eine klare Abgrenzung zum etablierten Material Steinkohlenflugasche und deren Einsatzmöglichkeiten. Die Wirbelschichtasche bietet durch ihre im Laufe der Untersuchungen nachgewiesene hydraulische Aktivität und ihre chemische Zusammensetzung ein breites Einsatzspektrum, ausgehend von der Eignung als Klinkerrohstoff bzw. Sekundärrohstoff in der Zementherstellung bis zum Einsatz in der Bodenverbesserung.

ABSTRACT

Intercepted flue ash from the flue gas of thermal power plants is being successfully used in the building industry for over 50 years. Its specific physical and chemical characteristics add special quality features to some building materials, especially to the most important one, concrete. Those ashes are predominantly ashes from pulverised coal firings.

The kind of ash talked over in this paper is the flue ash from the fluidised bed combustion of residues from a paper production process. This ash differs in wide array of chemical and physical characteristics from coal combustion fly ash. The analysis of those characteristics for classification of possible utilisation in the building industry was the aim of this paper.

As a result a clear differentiation to coal ashes was achieved. The fluidised bed combustion flue ash offers a variety of different fields of application, e.g. raw material and secondary resource for clinker production, soil stabilisation and others.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	2
2.1	Definition	2
2.2	Kraftwerksasche	3
2.2.1	Historie	3
2.2.2	Herstellung	4
2.3	Wirbelschichtasche	5
2.3.1	Historie	5
2.3.2	Funktionsprinzipien der atmosphärischen Wirbelschicht	6
2.3.3	Die Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung	8
2.4	Stoffliche Eigenschaften	11
2.4.1	Mineralische und chemische Zusammensetzung	12
2.4.2	Physikalische Parameter	14
3	Beschreibung des untersuchten Materials	17
3.1	Ausgangssituation	17
3.1.1	Wirbelschichtfeuerung der EEGV Laakirchen	17
3.1.2	Einsatzstoffe	20
3.1.3	Herstellung der Asche	21
3.2	Stoffliche Eigenschaften	24
3.2.1	Physikalische Eigenschaften	25
3.2.2	Untersuchungen an der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt für Festigkeits- und Materialprüfung	30
3.2.3	Mineralische und chemische Zusammensetzung	38
3.3	Bisherige Verwertung	42
3.3.1	Rechtliche Situation	42
3.3.2	Produktion	43
3.3.3	Verwertung der unbehandelten Asche	44
3.3.4	Verwertung der konditionierten Asche	45
4	Einsatzarten	46
4.1	Zementherstellung	46
4.1.1	Normgerechter Zement lt. ÖNORM EN 197-1	46
4.1.2	Flugasche als Hauptbestandteil	47
4.1.3	Klinkerherstellung	48
4.1.4	Chemische Prozesse der Klinkerherstellung	50
4.1.5	Einsatz der Asche	53
4.2	Betonzusatzstoff	56
4.2.1	Normgerechter Beton gemäß ÖN B 4710-1	56
4.2.2	Flugasche als Betonzusatzstoff - Wirkungsweisen	57
4.2.3	Flugasche als Betonzusatzstoff – Auswirkungen	58
4.3	Bodenverbesserung und Bodenverfestigung	61
4.3.1	Kalk in der Bodenbehandlung	62
4.3.2	Einsatz der Asche	64
5	Bewertung der Einsatzarten	67
5.1	Einsatz als Zementbestandteil	67
5.1.1	Einsatz als Zement-Hauptbestandteil	67
5.1.2	Einsatz in der Klinkerherstellung	68
5.1.3	Eignung als Zementbestandteil	72

5.2	Einsatz als Betonzusatzstoff	74
5.2.1	Bewertung nach formalen Kriterien	74
5.2.2	Technologische Bewertung des Einsatzes	76
5.3	Einsatz in der Bodenbehandlung	78
6	Ausblick und Fazit	80
A.1	Anhang	82
A.1.1	Ergebnisse der Partikelgrößenanalyse	82
A.1.2	Ergebnisse der XRF-Analysen	84
A.1.3	Ergebnisse der XRD-Analysen	85
	Literaturverzeichnis	49

Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1	Feuerungssysteme im Überblick	7
Bild 1.2	Aufbau einer stationären Wirbelschichtfeuerung	8
Bild 1.3	Schema der Zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung	10
Bild 1.4	Steinkohlenflugasche im Dreistoff-Diagramm.....	14
Bild 1.5	Steinkohlenflugasche im Rasterelektronenmikroskop (REM)	15
Bild 1.6	Bandbreite der Korngrößenverteilungen von Flugasche	16
Bild 2.1	Kesselhaus und Maschinenhaus der ZWSF der EEGV Laakirchen ...	19
Bild 2.2	Brennstofflager mit unterschiedlichen Fraktionen – rechts Flotat- schlämme, in der Mitte Rindenreste und links Alt- und Bauhölzer.....	20
Bild 2.3	Schlauchfilter aus der ZWSF der EEGV Laakirchen	22
Bild 2.4	Mischanlage mit Mischtrommel und Wiegeeinheit.....	23
Bild 2.5	Blick in die Mischtrommel	24
Bild 2.6	Filterasche trocken	26
Bild 2.7	Filterasche nass von Deponie	27
Bild 2.8	Korngrößenverteilung in logarithmischer Darstellung	28
Bild 2.9	Bodengruppeneinteilung mit typischen Verläufen unterschiedlicher Böden	30
Bild 2.10	Le Chatelier-Gerät samt Zubehör	34
Bild 2.11	Vicat-Gerät mit eingesetztem Vicat-Ring und montierter Nadel zur Messung des Erstarrungsbeginn	35
Bild 2.12	Prüfaufbau Druckfestigkeitsprüfung	36
Bild 3.1	Ablaufschema Zementherstellung	50
Bild 3.2	Einteilung Bereiche Boden Kalk - Hydraulische Bindemittel.....	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1	Mineralphasen in silikatischen Flugaschen	12
Tabelle 1.2	Chemische Zusammensetzung von silikatischen Flugaschen.....	13
Tabelle 1.3	Physikalische Kennwerte von silikatischen Flugaschen	15
Tabelle 2.1	Auslegungsdetails der Wirbelschichtfeuerung.....	19
Tabelle 2.2	Brennstoffverbrauch	21
Tabelle 2.3	Prüfprotokoll Partikelgrößenanalyse Sympatec HELOS Stichprobe 1 und 2 gemittelt, vom 28.10.2008	29
Tabelle 2.4	Analysenergebnisse der Probe 1	32
Tabelle 2.5	Analysenergebnisse der Proben 2 und 3.....	32
Tabelle 2.6	Rohdichte der Prüfkörper in kg/dm ³	37
Tabelle 2.7	Druckfestigkeiten in N/mm ²	38
Tabelle 2.8	Aktivitätsindex	38
Tabelle 2.9	Ergebnisse der XRF-Analyse von Probe 1 und 2, vom 16.03.2009 ...	40
Tabelle 2.10	Ergebnisse der XRD-Analyse von Probe 1, vom 26.05.2009	41
Tabelle 2.11	Ergebnisse der XRD-Analyse von Probe 2, vom 26.05.2009	42
Tabelle 3.1	Zusammensetzung von Zementen mit kalkreicher Flugasche.....	47
Tabelle 3.2	Chemische Zusammensetzung von Zement CEM-I (M.-%)	51
Tabelle 3.3	Chemische Reaktionen beim Brennen der Zementrohstoffe	51
Tabelle 3.4	Vergleich der typischen chemischen Zusammensetzung von CEM-I mit den Flugaschen trocken und nass.....	53
Tabelle 3.5	Fiktive Rohstoffanalyse für Mergelton, reale Werte Asche trocken	55
Tabelle 3.6	Arten von Baukalk nach ÖNORM EN 459-1.....	65
Tabelle 3.7	Feinkalk – Chemische Anforderungen und Reaktivität.....	65
Tabelle 3.8	Feinkalk – Anforderungen an die Korngrößenverteilung	65
Tabelle 4.1	Vergleich SFA und Filterasche Probe 2.....	76

Abkürzungsverzeichnis

SFA	Steinkohlenflugasche
WSF	Wirbelschichtfeuerung
ZWSF	Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung
ZWSK	Zirkulierender Wirbelschichtkessel
M.-%	Massenprozent
Glv.	Glühverlust
W/Z-Wert	Wasser-Zement-Wert
W/B-Wert	Wasser-Bindemittel-Wert
CSH	Calciumsilicathydrat ($3 \text{ CaO} + 2 \text{ SiO}_2 + 3 \text{ H}_2\text{O}$)
CAH	Calciumaluminathydrat ($3 \text{ CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 6 \text{ H}_2\text{O}$ bzw. $4 \text{ CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 7 \text{ H}_2\text{O}$)