
Inhaltsverzeichnis

Summary	I
Inhaltsverzeichnis	VI
Liste der Abkürzungen	XII
1 Einleitung	1
1.1 Überblick	1
1.2 Notwendigkeit der Verwertung	2
1.3 Zielstellung	3
1.4 Aufbau der Arbeit	7
1.5 Begriffsdefinitionen	8
2 Aufkommen und derzeitiger Einsatz von Brechsanden aus Bauschutt	10
2.1 Bauschutttaufkommen	10
2.2 Zusammensetzung und Einsatzgebiete von Brechsanden	12
2.2.1 Allgemeines	12
2.2.2 Betonbrechsand	14
2.2.3 Ziegelbrechsand	16
2.2.4 Kalksandsteinbrechsand	16
2.2.5 Brechsandgemische	17
3 Kenntnisstand zur Phasenumwandlung durch hohe Temperatur	19
3.1 Ausgangsstoffe im Betonbrechsand	19
3.2 Ergebnisse bisheriger Untersuchungen	21
3.3 Verhalten von Beton bei thermischer Beanspruchung bis 600°C	23
3.4 Verhalten von Beton bei thermischer Beanspruchung im Temperaturbereich von 600 - 1000°C	25
3.5 Verhalten von Beton bei thermischer Beanspruchung im Temperaturbereich von 1000 - 1450°C	29

3.6	Festigkeitsverhalten zementhaltiger Stoffe nach einer Temperaturbehandlung	29
4	Die Herstellung von Zement und hydraulischem Kalk	31
4.1	Zementherstellung	31
4.1.1	Ausgangsstoffe	31
4.1.2	Herstellungsprozeß	32
4.1.3	Phasenberechnung	34
4.1.4	Energieeinsatz	35
4.2	Herstellung hydraulischer Kalke	36
4.2.1	Ausgangsstoffe	36
4.2.2	Herstellungsprozeß	37
4.2.3	Energieeinsatz	38
5	Versuchsprogramm	39
5.1	Allgemeines zur Baustoffherstellung und -behandlung	39
5.2	Ausgangsstoffe	40
5.2.1	Betonbrechsand	40
5.2.2	Ziegelbrechsand und Kalksandsteinbrechsand	44
5.2.3	Verunreinigungen	44
5.3	Thermische Behandlung	44
5.3.1	Öfen	44
5.3.2	Aufheizrate	47
5.3.3	Behandlungstemperatur	47
5.3.4	Haltezeit	48
5.3.5	Abkühlung	48
5.4	Baustoffherstellung aus temperiertem Brechsand	48
5.4.1	Mörtel	48
5.4.2	Halbzeug (künstliche Steine)	50
5.5	Untersuchungsarten und -umfang	51
5.5.1	Phasenbestand	51
5.5.2	Frishmörteleigenschaften, Verarbeitbarkeit	57
5.5.3	Festigkeitseigenschaften	58

5.5.4	Verformungsverhalten	59
5.5.5	Porenaufbau und Wasseraufnahme	62
6	Untersuchungsergebnisse zum Phasenbestand des Ausgangs-, thermisch behandelten und weiterverarbeiteten Materials	66
6.1	Allgemeines	66
6.2	Chemische Zusammensetzung der Brechsande	66
6.3	Thermoanalytische Untersuchungsergebnisse	68
6.3.1	Thermogravimetrie (TG, DTG)	68
6.3.2	Differentialthermoanalyse (DTA)	74
6.4	Ergebnisse der Röntgenbeugungsanalyse zum Kristallphasenbestand	80
6.4.1	Kristalline Phasen von Betonbrechsand nach definierter Temperaturbehandlung bis 1350°C	80
6.4.2	Kristalline Phasen in Mörtel aus temperaturbehandeltem Betonbrechsand	87
6.4.3	Kristalline Phasen in Mörtel aus temperaturbehandeltem Betonbrechsand in Abhängigkeit vom Mörtelalter	91
6.4.4	Kristalline Phasen in Brechsand aus Beton, Ziegel, Kalksandstein und in Brechsandgemischen	94
6.4.5	Kristalline Phasen in Brechsand aus Abbruchbeton von der Halde	97
6.4.6	Kristalline Phasen in thermisch behandeltem Zementstein	97
6.4.7	Kristalline Phasen in thermisch behandeltem Betonbrechsand mit calcitischem Zuschlag	102
6.4.8	Kristalline Phasen in thermisch behandeltem Betonbrechsand bei unterschiedlicher Temperierdauer	104
6.4.9	Kristalline Phasen in thermisch behandeltem Betonbrechsand bei unterschiedlicher Aufbereitung	105
6.4.10	Einfluß von Alkali und Salz im Betonbrechsand auf den kristallinen Phasenbestand	106
6.4.11	Einfluß von Zuschlagvariationen im Mörtel auf den kristallinen Phasenbestand	107

6.4.12	Einfluß der Variation der Mörtellagerung auf den kristallinen Phasenbestand	108
6.5	Ergebnisse der Strukturuntersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskopie	109
7	Technologische Eigenschaften von Mörtel aus thermisch behandeltem Brechsand	117
7.1	Frischmörteleigenschaften	117
7.1.1	Allgemeines	117
7.1.2	Erforderliche Anmachwassermenge	117
7.1.3	Ansteifverhalten von Mörtel mit Brechsandzuschlag	118
7.1.4	Luftporengehalt	119
7.1.5	Frischmörtelrohichte	120
7.2	Einfluß der Parameter der Temperaturbehandlung von Betonbrechsand auf die Mörteldruckfestigkeit	121
7.2.1	Allgemeines	121
7.2.2	Einfluß der Temperaturhöhe	122
7.2.3	Einfluß der Haltezeit	123
7.2.4	Einfluß der Lagerungsdauer von Betonbrechsand nach der Temperaturbehandlung	123
7.2.5	Einfluß des Größtkorns des Betonbrechsandes	124
7.2.6	Einfluß einer Vorbehandlung des Brechsandes vor Temperierung durch Aufmahlung	125
7.2.7	Einfluß einer Nachbehandlung des Betonbrechsandes nach Temperierung durch Aufmahlung	125
7.2.8	Einfluß wiederholter thermischer Aufbereitung	125
7.2.9	Einfluß der Ofenart	126
7.3	Einfluß der Brechsandzusammensetzung auf die Mörteldruckfestigkeit	126
7.4	Einfluß der Mörtelzusammensetzung und -lagerung auf die Mörteldruckfestigkeit	130
7.4.1	Allgemeines	130
7.4.2	Variation der Bindemittelzusammensetzung	130

7.4.3	Variation des Wasser/Bindemittel Wertes und der Einfluß von Zusatzmitteln	131
7.4.4	Einfluß des Zuschlags	132
7.4.5	Einfluß der Lagerungsart und -dauer	133
7.5	Biegezugfestigkeit	134
7.6	Verformungsverhalten	135
7.6.1	Raumbeständigkeit	135
7.6.2	Dynamischer und statischer Elastizitätsmodul	136
7.6.3	Quell- und Schwindverformung	140
7.7	Porenaufbau und Wasseraufnahme	143
7.7.1	Porosität	143
7.7.2	Wasseraufnahme	144
8	Weiterverarbeitung von Brechsand zu künstlichen Steinen	146
9	Empfehlungen zum Praxiseinsatz von Betonbrechsand	149
9.1	Allgemeines	149
9.2	Ermittlung des maximal möglichen Brechsandanteiles als Bindemittelsubstitut für zementgebundene Baustoffe	151
9.3	Einsatz in Mörtel, Putz und Estrich	155
9.4	Einsatz in Beton	156
9.5	Einsatz als Halbzeug (Künstliche Steine)	156
9.6	Einsatz von BBS als Rohmehlsubstitut bei der Zementherstellung	157
10	Zusammenfassung, Schlußfolgerungen und Ausblick	159
11	Quellen	163
11.1	Literaturverzeichnis	163
11.2	Zitierte Normen und Richtlinien	171
Anhang		175
Tabellarischer Lebenslauf		179