

Jochen Stark

Bernd Wicht

Zement und Kalk

Der Baustoff als Werkstoff

Herausgegeben vom F. A. Finger-Institut
für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar

Mit 6 Farb- und 227 sw-Abbildungen und 90 Tabellen

BAU

PRAXIS

Birkhäuser

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
2 Zement	2
2.1 Geschichtliches	2
2.2 Portlandzementklinker	4
2.2.1 Chemische Zusammensetzung	4
2.2.2 Kennwerte für die chemische Beurteilung des Portlandzementklinkers	5
2.2.3 Mineralogische Zusammensetzung	7
2.2.3.1 Tricalciumsilicat	10
2.2.3.2 Dicalciumsilicat	13
2.2.3.3 Tricalciumaluminat	17
2.2.3.4 Calciumaluminatferrit	20
2.2.3.5 Zwischenmasse	22
2.2.3.6 Weitere Klinkerbestandteile	23
2.2.4 Zementtechnische Eigenschaften der Klinkermineralien	31
2.2.5 Berechnung der Klinkerphasenzusammensetzung nach BOGUE	33
2.2.6 Literatur	35
2.3 Herstellung von Zementklinker	36
2.3.1 Rohstoffe	37
2.3.1.1 Berechnung der Rohstoffmischung	38
2.3.1.2 Rohstoffgewinnung	40
2.3.1.3 Rohstoffaufbereitung	41
2.3.1.4 Vorhomogenisierung	42
2.3.1.5 Rohmehlhomogenisierung	42
2.3.2 Klinkerbrennen	43
2.3.2.1 Brennstoffe	43
2.3.2.2 Drehrohröfen	44
2.3.2.3 Vorwärmersysteme	44
2.3.2.4 Vorcalcinierverfahren	46
2.3.2.5 Klinkerkühler	48
2.3.2.6 Stoffkreisläufe	50
2.3.3 Ökologische Aspekte der Zementherstellung und -anwendung	52
2.3.4 Literatur	54
2.4 Sulfatträgeroptimierung	55
2.4.1 Literatur	60

2.5	Zumahlstoffe	61
2.5.1	Latent-hydraulische Stoffe	62
2.5.2	Puzzolanische Stoffe	65
2.5.2.1	Traß	66
2.5.2.2	Flugasche	67
2.5.2.3	Ölschiefer	71
2.5.2.4	Silicastaub	72
2.5.3	Inerte Stoffe	74
2.5.4	Bewertung der Hydraulizität von Zumahlstoffen	74
2.5.5	Wirkung von Zumahlstoffen	75
2.5.6	Qualitätsmerkmale für Zumahlstoffe	77
2.5.7	Zumahlstoffzemente im Beton	78
2.5.8	Literatur	79
2.6	Zementmahlung	80
2.6.1	Sichter	82
2.6.2	Mahltechnik	84
2.6.3	Literatur	92
2.7	Zementarten nach DIN 1164	93
2.8	Spezialzemente	118
2.8.1	Weißzemente	118
2.8.2	Tonerdezement	123
2.8.3	Tiefbohrzement (<i>oil well cement, gas well cement</i>)	130
2.8.4	Quellzement	132
2.8.5	Schnellzemente	141
2.8.6	Sulfathüttenzement	146
2.8.7	Aktiver Belitzement	149
2.8.8	Feinstzemente	154
2.8.9	Alinitzement	159
2.8.10	Bariumzement	162
2.8.11	Literatur	166
2.9	Hydratation des Portlandzementes	171
2.9.1	Verfestigungsprozesse	171
2.9.2	Definitionen	171
2.9.3	Verfestigungsarten	172
2.9.4	Klassische Theorien der Zementerhärtung	173
2.9.5	Hydratation der Klinkermineralien	174
2.9.5.1	Hydraulische Aktivität der Calciumsilicate	174
2.9.5.2	Hydratation der silicatischen Phasen C_3S und β - C_2S	176
2.9.5.3	Hydratation des C_3A	186
2.9.5.4	Hydratation des C_4AF	195
2.9.6	Vergleich der Hydratationsprodukte	198
2.9.7	Stabilität der Hydratphasen	202
2.9.7.1	Stabilität von Calciumhydroxid	202
2.9.7.2	Stabilität der C-S-H-Phasen	203

2.9.7.3	Stabilität des Monosulfats bzw. der AFm-Phase	206
2.9.7.4	Stabilität des Ettringits bzw. der AFt-Phase	208
2.9.8	Hydratation von Portlandzement	209
2.9.8.1	Reaktionskinetik	209
2.9.8.2	Reaktionsgeschwindigkeit des Portlandzementes	210
2.9.8.3	Gefügeentwicklung	212
2.9.8.4	Hydratationsgrad	213
2.9.8.4.1	Hydratationsgrad von Portlandzement	214
2.9.8.4.2	Hydratationsgrad von Hüttenzement	218
2.9.8.5	Hydratationswärmeentwicklung	220
2.9.9	Hydratation zumahlstoffhaltiger Zemente	228
2.9.9.1	Hydratation latent-hydraulischer Stoffe	230
2.9.9.1.1	Hydratation des Hüttensandes	230
2.9.9.1.2	Hydratation von hüttensandhaltigen Zementen	231
2.9.9.1.3	Verfärbungen von Betonoberflächen aus hüttensandhaltigen Zementen	231
2.9.9.1.4	Stabilität der aus hüttensandhaltigen Zementen gebildeten Hydratphasen	233
2.9.9.2	Hydratation in Anwesenheit puzzolanischer Stoffe ..	236
2.9.9.3	Hydratation in Anwesenheit inerter Stoffe	244
2.9.10	Erstarrungsstörungen	245
2.9.10.1	Falsches Erstarren	245
2.9.10.2	Plötzliches Erstarren (auch Schnelles Erstarren)	247
2.9.10.3	Thixotrophes Erstarren	247
2.9.11	Mikrostruktur der Phasengrenzfläche zwischen Zuschlag und Zementstein	248
2.9.12	Literatur	251
2.10	Zementstein	254
2.10.1	Zementsteinmodelle	255
2.10.1.1	Zementsteinmodell nach POWERS	255
2.10.1.2	Zementsteinmodell nach FELDMAN und SEREDA	256
2.10.1.3	Münchener Zementsteinmodell nach WITTMANN und SETZER	257
2.10.2	Porenraum	258
2.10.2.1	Zementgel und Schrumpfen	258
2.10.2.2	Porenarten im Zementstein	260
2.10.3	Festigkeit	262
2.10.4	Elastizitätsmodul (E-Modul)	263
2.10.5	Verformungen des Zementsteins	263
2.10.5.1	Spannungsunabhängige Verformungen	264
2.10.5.2	Spannungsabhängige Verformungen – elastische Verformbarkeit und Kriechen	264
2.10.6	Self-desiccation, die Selbstaustrocknung des Betons	271
2.10.7	Literatur	273

2.11	Fließverhalten von Zementleim	275
2.11.1	Rheologische Grundbegriffe	275
2.11.2	Rheologisches Verhalten von Zementleim	278
2.11.3	Messen des Fließverhaltens	281
2.11.4	Literatur	283
3	Baukalke	284
3.1	Geschichtliches	284
3.2	Bedeutung und Begriffe	286
3.3	Kalkstein	298
3.3.1	Entstehung und Einteilung	298
3.3.2	Mineralogisch-petrografische und chemische Zusammensetzung	302
3.3.2.1	Übergang Kalkstein-Dolomit	302
3.3.2.2	Übergang Kalkstein-Ton	303
3.3.2.3	Übergang Kalkstein-Sandstein	304
3.3.4	Kalksteinvorkommen in Deutschland	306
3.3.5	Gewinnung und Aufbereitung	307
3.4	Branntkalk	308
3.4.1	Entsäuerung des Kalksteins	309
3.4.2	Kalköfen	315
3.4.2.1	Schachtöfen	316
3.4.2.2	Drehrohröfen	319
3.4.2.3	Sonstige Öfen	320
3.4.3	Chemische und physikalische Eigenschaften	320
3.4.4	Einfluß der Brennbedingungen auf die Branntkalkeigenschaften	322
3.4.4.1	Chemische und mineralogische Zusammensetzung ..	322
3.4.4.2	Kornaufbau	324
3.4.5	Branntkalkprüfung	324
3.5	Chemische und physikalische Eigenschaften des Kalkhydrates	325
3.5.1	Hydratation des Branntkalkes	327
3.5.2	Einfluß der Lösbedingungen	328
3.5.2.1	Temperatur	328
3.5.2.2	Brenngrad	329
3.5.2.3	Fremdbestandteile	330
3.5.3	Technische Herstellung des Kalkhydrates	330
3.5.3.1	Naßlöschen	330
3.5.3.2	Trockenlöschen	331
3.5.3.3	Drucklöschen	332
3.5.4	Ergiebigkeit	332
3.6	Baukalkarten und -erhärtung	333
3.6.1	Luftkalke	334
3.6.2	Hydraulischer Kalk	335
3.6.3	Traßkalk	336

3.6.4	Romankalk	339
3.6.5	Sonstige Baukalke	340
3.7	Verwendung von Branntkalk und Kalkhydrat	340
3.7.1	Mörtel	341
3.7.1.1	Mauer- und Fugenmörtel	341
3.7.1.2	Putzmörtel	343
3.7.2	Kalkgebundene Anstriche	346
3.8	Literatur	348
4	Spezielle Bindemittel	349
4.1	Magnesiabinder	349
4.2	Phosphatbinder	351
4.3	Wasserglasbinder	353
4.4	Alkali-Schlacken-Bindemittel	358
4.5	Säure-Basen-Dentalbinder (Zahnzemente)	362
4.6	Literatur	365
	Stichwortverzeichnis	368