

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen . . . . .	16
Formelzeichen . . . . .	19
Hauptzeichen . . . . .	19
Nebenzeichen . . . . .	20
Nebenzeichen, dem Hauptzeichen vorangestellt . . . . .	22
<b>D Beton . . . . .</b>	<b>23</b>
Begriffe . . . . .	27
<b>D1 Bindemittel . . . . .</b>	<b>39</b>
1 Baukalk . . . . .	39
1.1 Luftkalk . . . . .	39
1.2 Hydraulisch erhärtender Kalk . . . . .	41
1.2.1 Gebrannter Kalk . . . . .	42
1.2.2 Zusammengesetzter Kalk . . . . .	43
1.2.3 Kalkarten . . . . .	43
1.3 Handelsformen und Kennzeichnung . . . . .	44
1.4 Eigenschaften und Anwendung . . . . .	44
2 Zement - Arten, Herstellung, Zusammensetzung . . . . .	46
2.1 Portlandzement (PZ) . . . . .	46
2.2 Zumahlstoffe . . . . .	48
2.3 Hüttenzement . . . . .	51
2.4 Andere genormte oder bauaufsichtlich zugelassene Zemente . . . . .	51
2.5 Sonstige Zemente . . . . .	54
2.6 Chemische Zusammensetzung . . . . .	54
3 Zement - Eigenschaften . . . . .	57
3.1 Mahlfineinheit . . . . .	57
3.2 Dichte und Schüttdichte (Litergewicht) . . . . .	59
3.3 Fließverhalten von Zementleim . . . . .	60
3.4 Wasserabsondern (Bluten) . . . . .	61
3.5 Erhärtung und Festigkeitseigenschaften . . . . .	62
3.5.1 Erstarren . . . . .	62
3.5.2 Erhärtungsverlauf der Portlandzemente . . . . .	65
3.5.3 Wasser-Zement-Wert $\omega$ und Zementsteinporenraum $p_m$ . . . . .	70
3.5.4 Besonderheiten der Erhärtung anderer Zemente . . . . .	77
3.5.4.1 Hüttenzemente . . . . .	77
3.5.4.2 Sulfathüttenzement . . . . .	79
3.5.4.3 Puzzolanzemente mit Traß, Flugasche, Lavamehl oder Phonolith . . . . .	80

	3.5.4.4	Portlandkalksteinzement . . . . .	80
	3.5.4.5	Tonerdezement . . . . .	80
3.6		Verformungseigenschaften . . . . .	81
	3.6.1	Spannungs-Dehnungs-Linie und Elastizitätsmodul . . . . .	81
	3.6.2	Feuchtedehnung . . . . .	82
	3.6.3	Kriechen . . . . .	86
	3.6.4	Wärmedehnung . . . . .	87
	3.6.5	Chemische Dehnung . . . . .	87
	3.6.5.1	Treiben (Raumbeständigkeit) . . . . .	87
	3.6.5.2	Schrumpfen . . . . .	89
3.7		Hydratationswärme . . . . .	89
3.8		Dichtheit gegenüber Flüssigkeiten und Gasen . . . . .	91
	3.8.1	Wasserundurchlässigkeit . . . . .	92
	3.8.2	Carbonatisierung . . . . .	93
3.9		Dauerhaftigkeit . . . . .	95
3.10		Zusammenfassung wichtiger Eigenschaften . . . . .	96
4		Andere Bindemittel . . . . .	98
	4.1	Putz- und Mauerbinder (PM-Binder) nach DIN 4211 . . . . .	98
	4.2	Hydraulischer Tragschichtbinder (HT-Binder) nach DIN 18 506 . . . . .	98
	4.3	Anhydritbinder nach DIN 4208 . . . . .	98
<b>D2</b>		<b>Betonzuschlag . . . . .</b>	<b>99</b>
1		Arten . . . . .	99
	1.1	Kiessand (Abb. D 2.1a) . . . . .	100
	1.2	Brechsand und Splitt (Abb. D 2.1b) . . . . .	101
	1.3	Betonsplitt . . . . .	101
	1.4	Künstlich hergestellter Zuschlag . . . . .	102
	1.5	Natürlicher Leichtzuschlag (Abb. D2.1d) . . . . .	103
	1.6	Schwerzuschlag (Abb. D 2.1e) . . . . .	104
2		Anforderungen und Bezeichnung . . . . .	104
3		Eigenschaften . . . . .	108
	3.1	Gesteinsbeschaffenheit . . . . .	108
	3.2	Dichten . . . . .	108
	3.2.1	Schüttdichte $\rho_s$ . . . . .	108
	3.2.2	Kornrohddichte $\rho_{Rg}$ . . . . .	110
	3.2.3	Dichte $\rho$ . . . . .	110
	3.2.4	Porenraum . . . . .	113
	3.3	Kornform und Kornoberfläche . . . . .	114
	3.4	Feuchte . . . . .	115
	3.5	Feuchtedehnung . . . . .	117
	3.6	Thermische Eigenschaften . . . . .	117
	3.7	Widerstandsfähigkeit gegen Frost . . . . .	118
	3.8	Kornfestigkeit . . . . .	119

3.9	Verschleiß und Polierbarkeit . . . . .	120
3.10	Schädliche Bestandteile . . . . .	121
3.10.1	Abschlämbbare Bestandteile . . . . .	121
3.10.2	Stoffe organischen Ursprungs . . . . .	123
3.10.3	Erhärtungsstörende Stoffe . . . . .	125
3.10.4	Schwefelverbindungen . . . . .	125
3.10.5	Stahlangreifende Stoffe . . . . .	125
3.10.6	Alkalilösliche Kieselsäure . . . . .	126
3.11	Besondere Anforderungen an gebrochene Hochofenstück- schlacke nach DIN 4301 und an künstlich hergestellten Leichtzuschlag . . . . .	128
4	Kornzusammensetzung . . . . .	128
4.1	Bestimmung und Darstellung . . . . .	129
4.2	Betontechnologische Sieblinien . . . . .	130
4.2.1	Stetige Sieblinien . . . . .	131
4.2.2	Unstetige Sieblinien (Ausfallkörnungen) . . . . .	134
4.3	Zuschlagkennwerte . . . . .	135
4.3.1	Sieblinienwerte . . . . .	136
4.3.2	Wasseranspruchszahl (A-Wert nach [2.10]) . . . . .	138
4.3.3	Spezifische Oberfläche . . . . .	138
4.3.4	Beispiel für die Berechnung der Kennwerte . . . . .	139
4.3.5	Zuschlagkennwerte für die Regelsieblinien . . . . .	140
4.4	Zusammensetzung sich überschneidender Korngruppen (Sieblinienverbesserung) . . . . .	140
4.5	Werkgemischter Betonzuschlag (WBZ) . . . . .	141
5	Probenahme zur Prüfung von Zuschlag . . . . .	142
<b>D3</b>	<b>Betonzusätze . . . . .</b>	<b>143</b>
1	Betonzusatzstoffe . . . . .	143
1.1	Puzzolane . . . . .	143
1.1.1	Steinkohlenflugasche (FA) . . . . .	145
1.1.2	Silicastaub (Silica Fume, SF) . . . . .	146
1.2	Pigmente . . . . .	147
1.3	Fasern . . . . .	148
2	Betonzusatzmittel . . . . .	151
2.1	Verflüssigende bzw. wassereinsparende Zusatzmittel . . . . .	153
2.2	Zusatzmittel mit anderen Wirkungen auf Frischbeton oder Frischmörtel . . . . .	155
2.3	In die Hydratation eingreifende Zusatzmittel . . . . .	155
2.4	Zusatzmittel mit Wirkung auf den Festbeton . . . . .	156

<b>D4 Frischbeton</b>	<b>159</b>
1 Zusammensetzen	159
1.1 Zement und Zementgehalt	160
1.2 Zuschlag	163
1.3 Wasser	164
1.3.1 Wassergehalt und Zugabewasser	164
1.3.2 Wasserbedarf w	165
1.4 Zusätze	168
1.4.1 Zusatzmittel	168
1.4.2 Zusatzstoffe	168
2 Herstellen und Verarbeiten	170
2.1 Dosieren und Mischen	170
2.2 Verarbeitbarkeit und Konsistenz	172
2.2.1 Verarbeitbarkeit	172
2.2.2 Konsistenz	175
2.2.3 Prüfung der Konsistenz	176
2.2.4 Ansteifen	180
2.3 Fördern	181
2.4 Einbauen	183
2.5 Verdichten	186
3 Eigenschaften	192
3.1 Wasserabsondern (Bluten)	192
3.2 Frischbetonrohichte	193
3.3 Luftporengehalt	195
3.4 Frischbetonzusammensetzung	198
3.5 Frischbetontemperatur (Ausgangstemperatur)	199
3.6 Grünstandfestigkeit	202
4 Nachbehandeln	203
4.1 Hydratationsverlauf	203
4.2 Nachbehandlung	205
4.3 Temperatureinfluß	207
4.4 Wärmebehandlung	211
<b>D5 Festbeton</b>	<b>213</b>
1 Zementsteinporenraum	213
2 Junger Beton	215
3 Rohdichte	217
4 Festigkeitseigenschaften	218
4.1 Druckfestigkeit	218
4.1.1 Festigkeitsentwicklung	218
4.1.2 Festigkeitsklassen	221

4.1.3	Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Beton-	222
	zusammensetzung (Normalfall) . . . . .	
4.1.4	Zusätzliche Einflüsse auf die Druckfestigkeit . . . . .	230
4.1.4.1	Zusatzstoffe . . . . .	230
4.1.4.2	Verbund zwischen Matrix und Zuschlag . . . . .	231
4.1.5	Nachweis der Betongüte . . . . .	234
4.1.5.1	Güteüberwachung . . . . .	237
4.1.5.2	Prüfung der Druckfestigkeit . . . . .	238
4.1.5.3	Prüfung der Betonfestigkeit im Bauwerk . . . . .	245
4.1.6	Druckfestigkeit bei besonderer Beanspruchung . . . . .	249
4.1.6.1	Hohe Betriebstemperaturen . . . . .	249
4.1.6.2	Tiefe Betriebstemperaturen . . . . .	252
4.1.6.3	Örtliche Beanspruchung . . . . .	252
4.1.6.4	Schlagfestigkeit . . . . .	253
4.1.6.5	Mehraxiale Druckbeanspruchung . . . . .	255
4.1.6.6	Dauerstandfestigkeit . . . . .	256
4.1.6.7	Dauerschwingfestigkeit . . . . .	257
4.2	Mischungsentwurf . . . . .	258
4.3	Festigkeit bei Zugbeanspruchung . . . . .	265
4.3.1	Zentrische Zugfestigkeit $\beta_Z$ . . . . .	265
4.3.2	Biegezugfestigkeit $\beta_{BZ}$ . . . . .	267
4.3.3	Spaltzugfestigkeit $\beta_{SZ}$ . . . . .	270
4.3.4	Oberflächenzugfestigkeit . . . . .	271
4.4	Schub- und Scherfestigkeit . . . . .	271
5	Verformungseigenschaften . . . . .	271
5.1	Spannungs-Dehnungs-Linie . . . . .	271
5.2	Elastizitätsmodul . . . . .	279
5.2.1	Einflüsse aus der Betonzusammensetzung . . . . .	279
5.2.2	Prüfung . . . . .	283
5.3	Querdehnung . . . . .	284
5.4	Kriechen und Relaxation . . . . .	285
5.5	Feuchtedehnung . . . . .	292
5.6	Wärmedehnung . . . . .	296
6	Thermische Eigenschaften . . . . .	298
6.1	Hydratationswärme . . . . .	298
6.2	Wärmeleitfähigkeit . . . . .	299
7	Reißneigung . . . . .	300
8	Dichtheit gegenüber Flüssigkeiten und Gasen . . . . .	302
8.1	Wasserdichtheit, Wasserundurchlässigkeit . . . . .	302
8.2	Öldichtheit . . . . .	305
8.3	Gasdichtheit . . . . .	305
9	Verhalten bei niedrigen Temperaturen . . . . .	307
9.1	Beeinflussung der Festigkeitsentwicklung . . . . .	307

9.2	Beeinflussung der Frischbetontemperatur . . . . .	311
9.3	Verhalten des sofort dem Frost ausgesetzten Frischbetons . . . . .	311
9.4	Verhalten des nach dem Erstarren dem Frost ausgesetzten Betons . . . . .	312
9.5.	Ermittlung der erforderlichen Erhärungszeiten . . . . .	312
9.5.1	Erhärungszeit für die Gefrierbeständigkeit . . . . .	312
9.5.2	Erhärungszeit für das Ausschalen des Betons . . . . .	317
<b>D 6</b>	<b>Besondere Betone . . . . .</b>	<b>321</b>
1	Sichtbeton . . . . .	321
2	Massenbeton . . . . .	323
3	Beton für Fahrbahndecken . . . . .	324
4	Hochfester Beton . . . . .	325
5	Faserbeton . . . . .	326
6	Spritzbeton . . . . .	328
7	Strahlenschutzbeton . . . . .	330
8	Hitzebeständiger Beton (Feuerbeton) . . . . .	331
9	Beton mit Kunststoff . . . . .	331
<b>D7</b>	<b>Leichtbeton . . . . .</b>	<b>333</b>
1	Möglichkeiten der Herstellung . . . . .	333
1.1	Kornporigkeit . . . . .	334
1.2	Matrixporigkeit . . . . .	335
1.3	Haufwerkporigkeit . . . . .	335
2	Konstruktionsleichtbeton . . . . .	339
2.1	Besonderheiten der Herstellung . . . . .	339
2.2	Rohdichte und Druckfestigkeit . . . . .	342
2.2.1	Rohdichteklassen . . . . .	342
2.2.2	Festigkeitsklassen . . . . .	342
2.2.3	Zusammenhang zwischen Matrix- und Zuschlag- eigenschaften . . . . .	343
2.2.4	Erforderliche Matrixdruckfestigkeit . . . . .	346
2.2.5	Festigkeitsentwicklung . . . . .	348
2.2.6	Mischungsentwurf für Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge . . . . .	349
2.2.7	Druckfestigkeit bei örtlicher Beanspruchung . . . . .	351
2.2.8	Dauerstandfestigkeit . . . . .	352
2.2.9	Dauerschwingfestigkeit . . . . .	352
2.3	Festigkeit bei Zugbeanspruchung . . . . .	352
2.4	Verformungseigenschaften . . . . .	354

	2.4.1	Spannungs-Dehnungs-Linie . . . . .	354
	2.4.2	Elastizitätsmodul . . . . .	355
	2.4.3	Kriechen . . . . .	356
	2.4.4	Schwinden . . . . .	357
	2.4.5	Wärmedehnung . . . . .	358
	2.5	Wärmeleitfähigkeit . . . . .	358
	2.6	Verhalten gegenüber Wasser . . . . .	358
	2.7	Wirtschaftlichkeit und Anwendung . . . . .	359
3		Leichter Leichtbeton . . . . .	360
	3.1	Beton mit sehr leichten Zuschlägen . . . . .	361
	3.2	Porenbeton (Gasbeton) . . . . .	362
	3.3	Schaumbeton . . . . .	366
	3.4	Kornporiger Leichtbeton mit poriger Matrix . . . . .	366
<b>D8</b>		<b>Dauerhaftigkeit . . . . .</b>	<b>368</b>
1		Witterungseinflüsse . . . . .	369
	1.1	Carbonatisierung . . . . .	370
	1.2	Angriff durch Frost-Tau-Wechsel . . . . .	375
2		Besondere Beanspruchungen . . . . .	379
	2.1	Angriff durch Taumittel . . . . .	379
	2.2	Chemischer Angriff . . . . .	382
	2.2.1	Lösender Angriff . . . . .	385
	2.2.1.1	Säuren . . . . .	386
	2.2.1.2	Austauschfähige Salze . . . . .	388
	2.2.1.3	Basische Flüssigkeiten . . . . .	389
	2.2.1.4	Weiches Wasser . . . . .	389
	2.2.1.5	Fette und Öle . . . . .	389
	2.2.2	Treibender Angriff . . . . .	390
	2.2.3	Böden und Gase . . . . .	391
	2.2.4	Beurteilung des Angriffsgrades . . . . .	392
	2.2.5	Widerstandsfähigkeit des Betons . . . . .	394
	2.2.5.1	Einfluß von Zement und Zusatzstoff . . . . .	394
	2.2.5.2	Betontechnologische Voraussetzungen . . . . .	396
	2.2.5.3	Bauliche Voraussetzungen . . . . .	398
	2.3	Verschleiß . . . . .	398
	2.4	Angriff radioaktiver Strahlen . . . . .	400
	2.5	Angriff durch Feuer . . . . .	400
3		Alkali-Zuschlag-Reaktion . . . . .	401
4		Korrosion des Stahles im Beton . . . . .	401
	4.1	Fehlstellen und Risse . . . . .	402
	4.2	Betondeckung . . . . .	402
	4.3	Porenbeton (Gasbeton) . . . . .	404
	4.4	Angriff durch Chloride . . . . .	404

5	Schutz und Instandsetzung . . . . .	407
<b>D9</b>	<b>Mörtel . . . . .</b>	<b>412</b>
1	Begriffe und Einteilung . . . . .	412
2	Allgemeine Eigenschaften . . . . .	413
3	Mauermörtel . . . . .	414
3.1	Arten, Einteilung und Zusammensetzung . . . . .	414
3.2	Anforderungen . . . . .	416
3.3	Eigenschaften der Mörtel nach DIN 1053 Teil 1 . . . . .	417
3.3.1	Normalmörtel . . . . .	418
3.3.2	Andere Mörtelarten . . . . .	419
3.4	Besondere Mauermörtel . . . . .	420
3.5	Werkmörtel . . . . .	421
4.	Einpreßmörtel . . . . .	422
4.1	Einpreßmörtel für Spannkanäle . . . . .	422
4.1.1	Zusammensetzung und Eigenschaften . . . . .	422
4.1.2	Einpressen . . . . .	423
4.1.3	Prüfung . . . . .	423
4.2	Zementinjektionen . . . . .	424
4.3	Vergußmörtel . . . . .	425
5	Estrichmörtel . . . . .	425
5.1	Zementestriche . . . . .	426
5.2	Hartstoffestriche . . . . .	427
5.3	Anhydritestriche . . . . .	427
5.4	Magnesiaestriche . . . . .	427
6	Fertigteile aus Mörtel . . . . .	428
<b>E</b>	<b>Mauerwerk . . . . .</b>	<b>430</b>
1	Einleitung . . . . .	430
2	Ausgangsstoffe . . . . .	430
2.1	Mauermörtel . . . . .	430
2.2	Mauersteine . . . . .	430
3	Aufgaben . . . . .	431
4	Eigenschaften . . . . .	433
4.1	Druckfestigkeit . . . . .	433
4.1.1	Spannungsverteilung im Mauerwerk . . . . .	433
4.1.2	Einfluß der Baustoffe nach der Vermauerung . . . . .	434
4.1.3	Zulässige Spannungen . . . . .	436
4.2	Verformungsverhalten . . . . .	437
4.2.1	Spannungs-Dehnungs-Linie . . . . .	437

4.2.2	Elastizitätsmodul . . . . .	438
4.2.3	Andere Formänderungen . . . . .	441
4.2.4	Folgen von Formänderungen . . . . .	442
4.2.5	Beurteilung der Rißsicherheit . . . . .	442
4.2.5.1	Formänderungen überwiegend in vertikaler Richtung . . . . .	443
4.2.5.2	Formänderungen überwiegend in horizontaler Richtung . . . . .	445
4.2.6	Maßnahmen zur Verhinderung von Rissen . . . . .	447
4.3	Verhalten gegenüber Feuchtigkeit . . . . .	448
5	Bewehrtes Mauerwerk . . . . .	449
	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>451</b>
1	Bücher . . . . .	451
2	Andere Veröffentlichungen . . . . .	454
	<b>Technische Regelwerke . . . . .</b>	<b>477</b>
1	Normen . . . . .	477
2	Richtlinien und Merkblätter . . . . .	489
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>493</b>