

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Kenngrößen und Einflussfaktoren auf die Dauerhaftigkeit von Beton ...	3
1.1 Historische Rolle der Dauerhaftigkeit	3
1.2 Voraussetzungen für die Dauerhaftigkeit	4
1.3 Einfluss des Zementsteins	14
1.4 Literatur	22
2 Carbonatisierung von Beton	23
2.1 Kurzer historischer Abriss	23
2.2 Wesen der Carbonatisierung	23
2.3 Phasen der Carbonatisierung	26
2.4 Auswirkungen der Carbonatisierung	29
2.4.1 Der pH-Wert	30
2.4.2 Korrosion der Bewehrung	32
2.5 Methoden zur Bestimmung der Carbonatisierungstiefe	38
2.6 Berechnung des Carbonatisierungsfortschrittes	41
2.7 Carbonatisierungsschwinden	46
2.8 Einflussfaktoren auf die Carbonatisierung	47
2.8.1 CO ₂ -Konzentration	47
2.8.2 Feuchtigkeit	47
2.8.3 w/z-Wert	49
2.8.4 Zementart	50
2.8.5 Nachbehandlung	52
2.8.6 Zuschläge, Zusatzmittel, Zusatzstoffe	57
2.8.7 Temperatur und thermodynamische Aspekte	57
2.9 Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen gegen stahlbetongefährden-	
de Carbonatisierung	65
2.9.1 Schutzmaßnahmen	65
2.9.2 Instandsetzungsmaßnahmen	67
2.9.3 Beurteilung der Wirksamkeit carbonatisierungsbremsender	
Beschichtungen	70

2.10 Selbstheilung von Rissen	72
2.11 Literatur	77
3 Neutralisation durch Schwefeldioxid und Stickoxide	80
3.1 Mechanismen der SO ₂ - und NO _x -Aufnahme	80
3.2 Literatur	82
4 Einwirkung von Chloriden auf Beton	83
4.1 Kurzer historischer Abriss	83
4.2 Chloride im Beton	83
4.2.1 Betonausgangsstoffe	84
4.2.2 Einwirkung von Meerwasser	85
4.2.3 Einwirkung von Tausalzen	87
4.2.4 Brandfall	88
4.3 Mechanismus des Eindringens von Chloriden	88
4.4 Beeinflussung der Transportvorgänge von Chloriden im Beton	90
4.5 In welcher Form liegen Chloride im Beton vor?	93
4.6 Chlorideinbindung durch Bindemittel	94
4.7 Kritischer korrosionsauslösender Grenzwert	96
4.8 Bestimmung des Chloridgehaltes	100
4.8.1 Quantitative chemische Analyse	100
4.8.2 Bestimmung (Nachweis) freier Chloridionen	101
4.8.3 Nachweis der fest gebundenen Chloridionen	103
4.9 Chloridangriff auf Stahlbeton	103
4.9.1 Elektrochemische Grundlagen	103
4.9.2 Rolle der Risse auf den Korrosionsfortschritt des Betonstahles	107
4.10 Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen bei chloridinduzierter Korrosion	108
4.10.1 Schutzmaßnahmen	108
4.10.2 Instandsetzungsmaßnahmen	113
4.11 Literatur	115
5 Sulfatwiderstandsfähigkeit von Beton	119
5.1 Kurzer historischer Abriss	119
5.2 Schadensmechanismus des Sulfatangriffs auf Beton	120
5.3 Ursachen des Sulfattreibens	120
5.4 Wirkungen des Sulfatangriffs	122
5.5 C ₃ A-Gehalt und Sulfatwiderstand	126
5.6 Einfluss von Zusatzstoffen auf den Sulfatwiderstand	130
5.7 Einfluss verschiedener Sulfatlösungen auf Zementstein	132

5.8	Betonangreifende Flüssigkeiten, Böden und Dämpfe	134
5.9	Betonparameter und Sulfatkorrosion	137
5.10	Prüfverfahren	139
5.11	Literatur	145
6	Schädigende Ettringitbildung im erhärteten Beton	148
6.1	Kurzer historischer Abriss	148
6.2	Grundlagen	149
6.3	Ettringit im Frischbeton	151
6.4	Ettringit im erhärteten Beton	154
6.5	Schädigende Ettringitbildung infolge unsachgemäßer Wärmebehandlung	157
6.5.1	Thermodynamische Berechnungen zur Ettringitbildung	158
6.5.2	Sulfatbindung in Abhängigkeit von der Erhärtungstemperatur	163
6.5.3	Einfluss der Betonzusammensetzung auf die späte Ettringit- bildung.....	167
6.5.4	Laborversuche zur Dauerhaftigkeit wärmebehandelter Betone	169
6.5.5	Vorbeugende Maßnahmen	172
6.6	Späte Ettringitbildung in nicht wärmebehandelten Betonen	174
6.6.1	Innere Sulfatquellen und späte Sulfatfreisetzung	176
6.6.2	Wechselnde Feuchtebelastung und schadensfördernde Rand- bedingungen	179
6.7	Nachweis von Betonschäden	188
6.7.1	Makroskopisches Schadensbild	188
6.7.2	Kennwerte zur Schadenserfassung	189
6.7.3	Nachweis der Schadensbeteiligung von Ettringit	194
6.7.3.1	Mikroskopisches Schadensbild	194
6.7.3.2	Analytische Verfahren zur Bestimmung von Oxid- und Phasenzusammensetzung	197
6.8	Literatur	202
7	Frost-und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton	208
7.1	Kurzer historischer Abriss	208
7.2	Gefrieren der Porenlösung im Zementstein	209
7.2.1	Gefrierpunktniedrigung durch Druck	209
7.2.2	Gefrierpunktniedrigung durch gelöste Stoffe	210
7.2.3	Gefrierpunktniedrigung durch Oberflächenkräfte	212
7.2.4	Unterkühlungseffekte	214
7.3	Zerstörungsmechanismen	216
7.3.1	Makroskopische Mechanismen	216
7.3.1.1	Ungleiche Temperatúrausdehnungskoeffizienten	216
7.3.1.2	Schichtenweises Gefrieren	217
7.3.1.3	Temperatursturz	218

7.3.2	Mikroskopische Schadensursachen	219
7.3.2.1	Hydraulischer Druck	219
7.3.2.2	Kapillarer Effekt	220
7.3.2.3	Diffusion und Osmose	222
7.3.2.4	Thermodynamisches Modell	222
7.3.2.5	Kristallisationsdruck	225
7.4	Einflussgrößen	226
7.4.1	Einfluss der Betonzusammensetzung	226
7.4.1.1	Wassermenge	226
7.4.1.2	Zuschlag	229
7.4.1.3	Künstliche Luftporen	232
7.4.1.4	Zement	236
7.4.2	Technologische Einflüsse	253
7.4.3	Äußere Einflüsse	254
7.5	Frost- und Frost-Taumittel-Prüfverfahren	256
7.5.1	Prüfung des Frost-Taumittel-Widerstandes mit dem CDF-Verfahren	258
7.5.2	Prüfung des Frostwiderstandes mit dem CIF-Verfahren	260
7.5.3	Präzision von CDF- und CIF-Test	264
7.5.4	Prüfung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes nach der schwedischen Norm SS 13 72 44 (Slab-Test; Borås-Verfahren)	265
7.6	Baupraktische Hinweise	268
7.6.1	Wesentliche Einsatzgebiete für Betone mit hohem FTW bzw. FTSW	268
7.6.2	Hauptschadensbilder frost-und/oder frosttaumittelgeschädigter Betonkonstruktionen	269
7.6.3	Mikroloftporen im Beton (LP-Beton)	269
7.6.4	Betontechnische Voraussetzungen für Betone mit hohem FTW bzw. FTSW	270
7.6.5	Wesentliche betontechnologische Anforderungen zur Sicherung eines sachgerechten LP-Betons	272
7.6.6	Beispiel für die Berechnung des spezifischen Zementgehaltes eines Luftporenbetons (LP-Beton)	273
7.7	Literatur	275
8	Mikrobiologische Betonkorrosion	279
8.1	Korrosion von Beton in Abwasseranlagen	280
8.2	Korrosion von Beton an Hochbauten	284
8.3	Literatur	286
9	Alkali-Kieselsäure-Reaktion	288
9.1	Kurzer historischer Abriss	288
9.2	Mechanismus der Alkali-Kieselsäure-Reaktion	289

9.3	Reaktivität von Zuschlägen	292
9.4	Alkaliempfindliche Zuschläge	295
9.5	Einflussgrößen auf die Alkali-Kieselsäure-Reaktion	304
9.6	Möglichkeiten zur Reduzierung bzw. Verhinderung schädigender Alkali-Kieselsäure-Reaktion	312
9.7	Prüfverfahren	313
9.8	AKR-Schadensmerkmale	315
9.9	Alkali-Richtlinie	322
9.10	Literatur	328
Stichwortverzeichnis		331