BETONTECHNISCHE DATEN

Ausgabe 2017

www.heidelbergcement.de

HEIDELBERGCEMENT

ECHT. STARK. GRÜN.

Hinweis

Dieses Heft ist lediglich zum persönlichen Gebrauch bestimmt. Die Zitate aus Normen und anderen Veröffentlichungen wurden zur besseren Verständlichkeit und aus Platzgründen teilweise in verkürzter und vereinfachter Form wiedergegeben. Eine gewerbliche Nutzung ist deshalb insbesondere für Ausschreibungen, Leistungsverzeichnisse und Gutachten ausgeschlossen. Im Zweifelsfall gilt ausschließlich der Originaltext der Norm beziehungsweise der zitierten Veröffentlichung.

Alle in den Betontechnischen Daten gegebenen Informationen, technischen Daten, Definitionen, Auskünfte und Hinweise sind nach bestem Wissen geprüft und zusammengestellt. Für deren Vollständigkeit und Richtigkeit übernehmen wir keine Haftung. Aus den Angaben können keine Ersatzansprüche hergeleitet werden.

Betontechnische Daten

Autoren / Redaktion dieser Ausgabe

Dagmar Küchlin

Otmar Hersel

mit Unterstützung von:

Dr. Robert Bachmann / Siegfried Riffel, Kap. 12.13, 13.3, 13.4

Dr. Peter Boos, Kap. 1

Dr. Martina Dietermann, Kap. 14

Peter Löschnig, Kapitel 3, Anhang „Hinweise zur Verwendung von Zusatzmitteln“

Anmerkung

- Stand der Regelwerke: Juli 2017
- Die Bezeichnung der Tabellen erfolgt kapitelweise mit der Kapitelnummer und kleinen Buchstaben (Beispiel: Tabelle 6.3.2.b ist die zweite Tabelle in Kapitel 6.3.2)

Zement 1
Gesteinskörnungen für Beton 2
Betonzusatzmittel 3
Betonzusatzstoffe und Fasern 4
Zugabewasser für Beton 5
Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 6
Konformitätskontrolle nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 7
Produktionskontrolle 8
Betontechnologie 9
Bauausführung 10
Prüfen von Beton 11
Betonanwendungen 12
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen ZTV 13
Ökobilanzielle Kennwerte für Zement und Beton 14
Estrich 15
Mauermörtel 16
Brandschutz nach nationaler und europäischer Normung 17
Auswahl von Normen und Richtlinien 18
Zeichen, Einheiten und Dezimalfaktoren 19
Statistische Auswertung von Prüfwerten 20
Stichwortverzeichnis 21

1 Zement 2

1.1 Begriffe 3

1.2 Zement nach DIN EN 197-1 5

1.2.1 Normalzement mit niedriger Hydratationswärme (LH-Zement) 8

1.2.2 Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) 8

1.2.3 Normalzement mit niedriger Anfangsfestigkeit (L-Zement) 8

1.2.4 Normbezeichnung 8

1.3 Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164. 10

1.3.1 Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt nach DIN 1164-10 (na)-Zement) 10

1.3.2 Zement mit verkürztem Erstarren nach DIN 1164-11 (FE-Zement und SE-Zement) 11

1.3.3 Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen (HO-Zement) nach DIN 1164-12 11

1.4 Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme nach DIN EN 14216 (VLH-Zement) 12

1.5 Zementeigenschaften 14

1.5.1 Druckfestigkeit. 14

1.5.2 Erstarren. 14

1.5.3 Raumbeständigkeit 15

1.5.4 Hydratationswärme 15

1.5.5 Farbe 16

1.5.6 Dichte und Schüttdichte 16

1.5.7 Mahlfeinheit 16

1.6 Einfluss der Lagerung 17

1.7 Gesundheitliche Relevanz von Zement 18

1.8 CE Kennzeichnung und Leistungserklärung 20

1.9 Tonerdezement nach DIN EN14647 (CAC-Zement) 21
1.9.1 Tonerdezement – Herstellung und Eigenschaften 22
1.10 Auswahl von Normalzementen von HeidelbergCement 24
1.11 Spezialbindemittel von HeidelbergCement 28

2 Gesteinskörnungen für Beton 34
2.1 Begriffe 34
2.2 Anforderungen an Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 und DIN 1045-2 35
2.2.1 Kategorien 36
2.2.2 Regelanforderungen 41
2.2.3 Anforderungen an die Kornzusammensetzung der gebräuchlichsten Korngruppen. 42
2.3 Anforderungen an leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1 und DIN 1045-2 44
2.4 Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 46
2.4.1 Regelanforderungen 47
2.4.2 Weitere Anforderungen 48
2.4.3 Zulässige Anteile 48
2.5 Gesteinskörnungen mit alkalireaktiver Kieselsäure und vorbeugende Maßnahmen 48
2.5.1 Feuchtigkeitsklassen und Alkaliempfindlichkeitsklassen 49
2.5.2 Vorbeugende Maßnahmen 50
2.5.2.1 Gesteinskörnungen mit Opalsandstein und Flint 51
2.5.2.2 Andere alkaliempflindliche Gesteinskörnungen. 52
2.6 Physikalisch-technische Eigenschaften von Gesteinskörnungen 53

2.7 Betontechnologische Kennwerte von Gesteinskörnungen 54
2.7.1 Kornzusammensetzung – Sieblinien 54
2.7.2 Körnungsziffer (k-Wert) und Durchgangswert (D-Summe) 57
2.7.3 Wasseranspruch (bezogen auf oberfächentrockene Gesteinskörnung) 59

3 Betonzusatzmittel 61
3.1 Betonverflüssiger (BV) 62
3.2 Fließmittel (FM) 62
3.3 Fließmittel/Verzögerer (FM) 64
3.4 Luftporenbildner (LP) 64
3.5 Dichtungsmittel (DM) 64
3.6 Verzögerer (VZ) 65
3.7 Erhärtungsbeschleuniger (BE) 65
3.8 Erstarrungsbeschleuniger (BE) 65
3.9 Erstarrungsbeschleuniger für Spitzbeton (SBE) . 66
3.10 Einpresshilfen (EH) 66
3.11 Stabilisierer (ST) 66
3.12 Viskositätsmodifizierer 67
3.13 Sedimentationsreduzierer (SR) 67
3.14 Chromatreduzierer (CR) 67
3.15 Schaumbildner (SB) 67
3.16 Elastische Hohlkugeln für Luftporenbeton 68
3.17 Abdichtungsmittel 68
3.18 Passivator 68

3.19 Recyclinghilfe (RH) 68
3.20 Verwendung von Betonzusatzmitteln 69
3.21 Umgang mit Betonzusatzmitteln 70

4 Betonzusatzstoffe und Fasern 71
4.1 Steinkohlenflugasche (SFA) nach DIN EN 450-1 und Silikastaub (SF) nach DIN EN 13263-1 71
4.1.1 Anrechenbarkeit von Flugasche und Silikastaub nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 73
4.1.2 Verwendung von Flugasche in Unterwasserbeton 74
4.1.3 Verwendung von Flugasche in Bohrpfählen 74
4.1.4 Verwendung von Flugasche in Beton mit hohem Sulfatwiderstand nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 74
4.1.5 Verwendung von Flugasche in Beton mit alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 74
4.2 Hüttensandmehl (HSM) nach DIN EN 15167-1 . . . 75
4.2.1 Anrechenbarkeit von Hüttensandmehl gemäß den Festlegungen in der Bauregelliste A 75
4.2.2 Verwendung von Hüttensandmehl in Unterwasserboden 76
4.2.3 Verwendung von Hüttensandmehl in Beton mit hohem Sulfatwiderstand nach DIN EN 206-1 / SIN 1045-2 76
4.2.4 Verwendung von Hüttensandmehl in Beton mit alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen 76
4.3 Trass und Füller (Gesteinsmehle) 77
4.4 Farbpigmente 77
4.5 Kunststoffdispersionen 78
4.6 Fasern 79

5 Zugabewasser für Beton 81

5.1 Anforderungen bei Prüfung von Zugabewasser . 81

5.2 Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung 82

6 Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 85

6.1 Begriffe 85

6.2 Klasseneinteilung 87

6.2.1 Expositionsklassen und Feuchtigkeitsklassen 88

6.2.1.1 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko 88

6.2.1.2 Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung 89

6.2.1.3 Bewehrungskorrosion durch Chloride (außer Meerwasser) 90

6.2.1.4 Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser 90

6.2.1.5 Betonkorrosion durch Frostangriff mit und ohne Taumittel 91

6.2.1.6 Betonkorrosion durch chemischen Angriff 91

6.2.1.7 Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung 93

6.2.1.8 Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion 94

6.2.2 Konsistenzklassen 95

6.2.3 Druckfestigkeitsklassen 96

6.2.4 Klassen nach Größtkorn der Gesteinskörnung 98

6.2.5 Rohdichteklassen 99

6.3 Anforderungen an Beton 99

6.3.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe 99

6.3.2 Anforderungen an Beton in Abhängigkeit von den Expositionsklassen 101

6.3.3 Anwendungsbereiche für Normzemente zur Herstellung von Beton 105

6.3.4 Anforderungen an den Mehlkorngehalt 111

6.3.5 Anforderungen an den Luftgehalt bei Frost- und Frost-Tausalzangriff 112
6.3.6 Anforderungen an den Chloridgehalt 113
6.3.7 Anforderungen bei Lieferung des Betons. 113
6.3.8 Anforderungen an Betone mit besonderen Eigenschaften 115

6.4 Festlegung von Beton 116
6.4.1 Allgemeines 116
6.4.2 Festlegung von Beton nach Eigenschaften 117
6.4.3 Festlegung von Beton nach Zusammensetzung 117
6.4.4 Festlegung von Standardbeton. 118

7 Konformitätskontrolle nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 119

7.1 Begriffe 120

7.2 Konformitätskontrolle für Beton nach Eigenschaften für die Druckfestigkeit. . . . 120
7.2.1 Verfahren der Konformitätskontrolle. 122
7.2.2 Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit 122
7.2.3 Probenahme- und Prüfplan. 124
7.2.4 Konformitätsnachweis über Betonfamilien 125
7.2.4.1 Transformation der Druckfestigkeiten. 125
7.2.4.2 Vorgehensweise für den Konformitätsnachweis über Betonfamilien. 128
7.2.5 Beispiele für die Durchführung des Konformitätsnachweises 129
7.2.5.1 Nachweis für einen Beton – Erstherstellung. 129
7.2.5.2 Nachweis für einen Beton – stetige Herstellung 130
7.2.5.3 Nachweis für eine Betonfamilie – Erstherstellung 131
7.2.5.4 Nachweis für eine Betonfamilie – stetige Herstellung . . 134

7.3 Konformitätskontrolle für Beton nach Zusammensetzung einschließlich Standardbeton 135

8 Produktionskontrolle 136
8.1 Erstprüfung 136
8.2 Herstellen des Betons 137
8.2.1 Mischen des Betons 137
8.2.2 Variationsbereiche der Betonzusammensetzung. 137

9 Betontechnologie 138
9.1 Betonentwurf 138
9.1.1 Beispiele zur Anwendung der Expositions- und Feuchtigkeitsklassen 138
9.1.2 Beispiele zur Festlegung der Grenzwerte für die Betonzusammensetzung 140
9.2 Walz-Kurven 141
9.3 Stoffraumrechnung 143
9.4 Ermittlung der Frischbetontemperatur. 145
9.5 Ermittlung der Festbetontemperatur 147
9.6 Formänderungen 149
9.6.1 Schwinden und Quellen. 149
9.6.2 Kriechen 151
9.6.3 Temperaturdehnung 151
9.6.4 Elastische Verformung 152
9.6.5 Abschätzung der Formänderung von Beton 154
9.7 Abschätzung von Leichtbetondruckfestigkeiten 154

10 Bauausführung 156

10.1 Betondeckung der Bewehrung nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA 156

10.2 Fördern und Verarbeiten des Betons nach DIN EN 13670/DIN 1045-3 160

10.3 Frischbetontemperatur 161

10.4 Gefrierbeständigkeit 161

10.5 Festigkeitsentwicklung in Abhängigkeit von der Betontemperatur 162

10.6 Ausschalfristen 162

10.7 Nachbehandlung und Schutz des Betons 163

10.7.1 Allgemeines 163

10.7.2 Nachbehandlungsverfahren 163

10.7.3 Nachbehandlungsdauer 164

10.8 Überwachungsprüfungen durch das Bauunternehmen 165

10.8.1 Überwachungsklassen für Beton 166

10.8.2 Überwachung von Beton nach Eigenschaften 167

10.8.3 Überwachung von Beton nach Zusammensetzung 168

10.8.4 Häufigkeit der Prüfungen an Standardbeton 169

10.8.5 Andere Betoneigenschaften 169

11 Prüfen von Beton 170

11.1 Prüfen von Frischbeton 171

11.1.1 Probenahme 171

11.1.2 Konsistenz 171

11.1.3 Frischbetonrohdichte 173

11.1.4 Luftgehalt 174

11.1.5 Prüfung von selbstverdichtendem Beton (SVB) 174

11.2 Prüfen von Festbeton 178
11.2.1 Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen 178
11.2.2 Prüfung der Druckfestigkeit 179
11.2.3 Prüfung der Biegezugfestigkeit. 180
11.2.4 Prüfung der Spaltzugfestigkeit 181
11.2.5 Prüfung der Dichte von Festbeton 181
11.2.6 Prüfung der Wassereindringtiefe unter Druck 181
11.2.7 Prüfung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes . . 182
11.2.8 Bestimmung des relativen Karbonatisierungswiderstandes von Beton 183
11.2.9 Bestimmung des Chloridwiderstandes von Beton. 183
11.2.10 Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung 184
11.2.11 Rundungsgenauigkeit von Prüfergebnissen. 186
11.2.12 Zusammenhang zwischen Druck-, Biegezug-, Spaltzug- und Zugfestigkeit 186

11.3 Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen 187
11.3.1 Bestimmung der Bauwerksdruckfestigkeit 188
11.3.2 Beurteilung des Betons bei negativen Konformitätsprüfungen 190

12 Betonanwendungen 196

12.1 Sichtbeton. 196
12.1.1 Zusammensetzung 196
12.1.2 Herstellung von Sichtbetonflächen. 197
12.1.3 Optische Anforderungen und Beurteilungskriterien. . . . 200

12.2 Hochfester Beton 202
12.2.1 Regelwerk 202
12.2.2 Zusammensetzung 203
12.2.3 Anwendung 204

12.3 Massige Bauteile aus Beton 205
12.3.1 Regelwerk 205
12.3.2 Zusammensetzung 205
12.3.3 Temperaturentwicklung 207
12.3.4 Herstellung 208

12.4 Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton . . 209
12.4.1 Regelwerk 209
12.4.2 Beanspruchungsklassen 209
12.4.3 Nutzungsklassen 210
12.4.4 Anforderungen an den Beton 210
12.4.5 Empfohlene Mindestbauteildicken 211

12.5 Bohrpfahlbeton 211
12.5.1 Regelwerk 211
12.5.2 Ausgangsstoffe 211
12.5.3 Anforderungen an den Beton 212
12.5.4 Prüfung und Überwachung 213

12.6 Stahlfaserbeton 213
12.6.1 Regelwerk 214
12.6.2 Leistungsklassen 214
12.6.3 Kennzeichnung von Stahlfaserbeton 216
12.6.4 Stahlfaserarten 216
12.6.5 Zusammensetzung 217
12.6.6 Herstellung, Erstprüfung und Überwachungsklassen . . 218
12.6.7 Eigenschaften 218
12.6.8 Anwendungen 219

12.7 Trinkwasserbehälter 219
12.7.1 Regelwerk 220
12.7.2 Ausgangsstoffe 221
12.7.3 Anforderungen an den Beton 221
12.7.4 Ausführung 222

12.8 Spritzbeton 223
12.8.1 Regelwerk 223
12.8.2 Herstellung 223
12.8.3 Zusammensetzung der Grundmischung (Bereitstellungsgemisch) 224
12.8.4 Anwendung 226

12.9 Leichtverarbeitbarer Beton (LVB) 226
12.9.1 Zusammensetzung 227
12.9.2 Anwendung 227

12.10 Selbstverdichtender Beton (SVB) 228
12.10.1 Regelwerk 228
12.10.2 Anforderungen an SVB 228
12.10.3 Zusammensetzung 229
12.10.4 Anwendung 230

12.11 Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen 230
12.11.1 Bemessungsgrundlage 231
12.11.2 Zusammensetzung des Betons 231
12.11.3 Ausführung 233
12.11.4 Prüfung der Eindringtiefe 234

12.12 Beton für die Landwirtschaft 234
12.12.1 Regelwerk 234
12.12.2 Anwendungen 234
12.12.3 Anforderungen an den Beton 238
12.12.4 Schutz und Nachbehandlung 240

12.13 Dränbeton/Offenporiger Beton 240
12.13.1 Eigenschaften 240
12.13.2 Anwendung 241
12.13.3 Anwendung im Verkehrswegebau 241
12.13.4 Anforderungen an die Ausgangsstoffe für DBT und DBD 243

12.13.5 Anhaltswerte für die Zusammensetzung und Anforderungen an die Betoneigenschaften von DBT, DBD und OPD 244

12.14 Schaumbeton – Porenleichtbeton. 245
12.14.1 Herstellung 245
12.14.2 Eigenschaften 245
12.14.3 Anwendung 246

13 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen ZTV 247

13.1 ZTV-ING für Ingenieurbauten: Teil 3, Massivbau 247
13.1.1 Anforderungen an die Betonausgangsstoffe 248
13.1.2 Anforderungen an die Betonzusammensetzung 249
13.1.3 Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen 250
13.1.4 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton 253
13.1.5 Nachbehandlung 254

13.2 ZTV-W für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton 255
13.2.1 Expositionsklassen 255
13.2.2 Anforderungen an die Ausgangsstoffe 257
13.2.3 Anforderungen an die Betonzusammensetzung 258
13.2.4 Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen 259
13.2.5 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton 260
13.2.6 Eignungsprüfung und zusätzliche Prüfungen. 261
13.2.6.1 Prüfung der Sedimentationsstabilität des Frischbetons 263
13.2.6.2 Prüfung der Mischungsstabilität am Festbeton 264
13.2.7 Nachbehandlung 265

13.3 ZTV Beton-StB 07, TL Beton-StB 07, TP B-StB für den Neubau von Betonstraßen 266
13.3.1 Expositions- und Feuchtigkeitsklassen 267
13.3.2 Anforderungen an die Ausgangsstoffe 268
13.3.3 Anforderungen an die Betonzusammensetzung 270
13.3.4 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton 271
13.3.5 Schutz und Nachbehandlung 271

13.4 ZTV BEB-StB 15, TL BEB-StB 15 für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen aus Beton. 273
13.4.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe für Frühfesten Straßenbeton und Schnellbeton nach TL BEB-StB 275
13.4.2 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton für Frühfesten Straßenbeton und Schnellbeton Typ A nach TL BEB-StB. 275
13.4.3 Eignungsnachweise für Frühfesten Straßenbeton und Schnellbeton nach ZTV BEB-StB (Ersatz von Platten oder Plattenteilen) 278

14 Ökobilanzielle Kennwerte für Zement und Beton 280

15 Estrich. 284
15.1 Estricharten. 284
15.2 Klassifizierung 285
15.3 Mindestanforderungen in Abhängigkeit von der Ausführungsart 287
15.4 Konformitätsbewertung. 288
15.5 Ausführung 288

16 Mauermörtel 290

16.1 Regelwerk 290

16.2 Begriffe 290

16.3 Anforderungen an die Ausgangsstoffe 291

16.4 Anforderungen an Mauermörtel nach Eignungsprüfung 292

16.5 Verwendung von Mauermörtel ohne Eignungsprüfung (Rezeptmörtel) 296

17 Brandschutz nach nationaler und europäischer Normung 297

17.1 Brandschutz nach DIN 4102 297

17.1.1 Baustoffklassen nach DIN 4102 297

17.1.2 Feuerwiderstandsklassen F von Bauteilen nach DIN 4102-2 298

17.2 Brandschutz nach DIN EN 13501 300

17.2.1 Brandverhalten von Baustoffen / Bauprodukten nach DIN EN 13501-1 301

17.2.2 Feuerwiderstand von Bauteilen nach DIN EN 13501-2 302

18 Auswahl von Normen und Richtlinien (Stand 7/2017) 304

18.1 Zement, Bindemittel 304

18.2 Gesteinskörnungen 306

18.3 Zusatzmittel 307

18.4 Zusatzstoffe 308

18.5 Zugabewasser 308

18.6 Beton 309
18.7 Estrich 313
18.8 Mauermörtel 314
18.9 Weitere Normen 315
18.10 Regelwerke im Ingenieur- und Wasserbau 318
18.11 Regelwerke im Verkehrswegebau 318
18.12 Richtlinien und Hefte des DAfStb 321
18.13 Merkblätter des DBV 322

19 Zeichen, Einheiten und Dezimalfaktoren. . 325

20 Statistische Auswertung von Prüfwerten . 327
20.1 Statistische Auswertung über den arithmetischen Mittelwert 327
20.2 Auswertung von Prüfergebnissen über den Median 328

21 Stichwortverzeichnis 330

Anhang

Anhang 1 Regelwerke für den Betonstraßenbau A1
Anhang 2 Hinweise zur Verwendung von Betonzusatzmitteln A2

1 Zement

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel. Hydraulisch bedeutet, dass Zement nach dem Anmachen mit Wasser sowohl an der Luft als auch unter Wasser erhärtet. Erhärteter Zement bleibt auch unter Wasser fest und raumbeständig.

Tabelle 1.a: Übersicht der geltenden Zementnormen

Norm	Inhalt	Zement-arten	Festigkeits-klassen	Zusätzliche Klassen	BTD-Kapitel
DIN EN 197-1	Normalzement	CEM I bis CEM V	32,5 N und R 42,5 N und R 52,5 N und R		1.2
	Normalzement mit niedriger Hydratationswärme			LH (≤ 270 J/g)	
	Normalzement mit hohem Sulfatwider-stand	CEM I	32,5 L/N/R 42,5 L/N/R 52,5 L/N/R	SR 0 SR 3 SR 5	
		CEM III/B CEM III/C CEM IV		SR	
	Normalzement mit niedriger Anfangs-festigkeit	CEM III	32,5 L 42,5 L 52,5 L	Optional: LH (≤ 270 J/g) SR	
DIN 1164-10	Normalzement mit besonderen Eigen-schaften ▪ niedriger wirksamer Alkaligehalt	CEM I bis CEM V	32,5 N und R 42,5 N und R 52,5 N und R	(na) (niedriger wirksamer Alkaligehalt)	1.3.1
DIN 1164-11	Zement mit verkürz-tem Erstarren			FE (frühes Erstarren) SE (schnell-erstarrend)	1.3.2
DIN 1164-12	Zement mit erhöhtem Anteil an organischen Bestandteilen			HO	1.3.3
DIN EN 14216	Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme	VLH III/B und /C VLH IV VLH V	22,5	VLH (≤ 220 J/g)	1.4
DIN EN 14647	Tonerdezement	CAC	18 MPa (6 h) + 40 MPa (24 h)	–	1.9

Die Anwendungsbereiche für Normzemente zur Herstellung von Beton sind in DIN 1045-2 festgelegt (siehe Tabellen 6.3.3.a – d).

1.1 Begriffe

Hauptbestandteil
Bestandteil des Zements, dessen Anteil mehr als 5 M.-% der Gesamtsumme aller Haupt- und Nebenbestandteile beträgt (siehe Tabelle 1.2.a).

Nebenbestandteil
Nebenbestandteile des Zementes können sein:

- natürliche anorganische mineralische Stoffe,
- anorganische mineralische Stoffe, die bei der Klinkerherstellung entstehen oder
- alle als Hauptbestandteil zulässigen Stoffe, sofern sie in diesem Zement nicht als solche eingesetzt sind.

Der Anteil aller Nebenbestandteile darf nicht mehr als 5 M.-% der Gesamtsumme aller Haupt- und Nebenbestandteile betragen. Die im Zement eingesetzten Erstarrungsregler zählen nicht zu den Nebenbestandteilen.

Portlandzementklinker (K)
Portlandzementklinker wird durch Sinterung einer genau festgelegten Rohstoffmischung hergestellt. Die Rohstoffmischung muss fein gemahlen, gut gemischt und homogen sein.

Tabelle 1.1.a: Rohstoffe für die Herstellung von Portlandzementklinker

Rohstoff	Oxid	Abkürzung
Kalkstein, Mergel, Kreide	CaO	C
Ton, Quarzsand, Löss	SiO_2	S
Ton, Mergel	Al_2O_3	A
Ton, Eisenerz	Fe_2O_3	F

Bei der Sinterung entstehen im Wesentlichen die vier Klinkerphasen:

- Tricalciumsilicat (Alit) C_3S
- Dicalciumsilicat (Belit) C_2S
- Tricalciumaluminat C_3A
- Calciumaluminatferrit C_4AF

Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke) (S)
Hüttensand entsteht durch schnelles Abkühlen einer bei der Roheisenherstellung gebildeten Schlackenschmelze. In feingemahlenem Zustand ist er ein latenthydraulischer Stoff, der zum hydraulischen Erhärten einen Anreger braucht.

Puzzolane (P, Q)
Puzzolane sind natürliche Gesteine, die reaktives Siliciumdioxid (SiO_2) enthalten. Puzzolane reagieren bei Wasserzugabe mit Calciumhydroxid ($Ca(OH)_2$) festigkeitsbildend.

- **Natürliches Puzzolan (P)**
  Natürliche Puzzolane sind im Allgemeinen Gesteine vulkanischen Ursprungs oder Sedimentgesteine, wie z. B. Trass.
- **Natürliches getempertes Puzzolan (Q)**
  Natürliche getemperte Puzzolane sind thermisch aktivierte Gesteine vulkanischen Ursprungs, Tone, Schiefer oder andere Sedimentgesteine.

Flugasche (V, W)
Flugasche wird durch die elektrostatische oder mechanische Abscheidung staubartiger Partikel aus den Rauchgasen von Kohlekraftwerken gewonnen. Sie liegt überwiegend in kugelig glasiger Form vor.

- **Kieselsäurereiche Flugasche (V)**
  Kieselsäurereiche Flugasche besteht im Wesentlichen aus reaktionsfähigem Siliciumdioxid (SiO_2) und Aluminiumoxid (Al_2O_3) und hat puzzolanische Eigenschaften.
- **Kalkreiche Flugasche (W)**
  Kalkreiche Flugasche besteht im Wesentlichen aus reaktionsfähigem Calciumoxid (CaO), reaktionsfähigem Siliciumdioxid (SiO_2) und Aluminiumoxid (Al_2O_3) und hat latenthydraulische und/oder puzzolanische Eigenschaften.

Gebrannter Schiefer (T)
Bei ca. 800 °C gebrannter Schiefer, insbesondere gebrannter Ölschiefer, weist in feingemahlenem Zustand ausgeprägte hydraulische Eigenschaften wie Portlandzementklinker und daneben puzzolanische Eigenschaften auf.

Kalkstein (L, LL)
Kalksteinmehl, das als Hauptbestandteil für Zement eingesetzt wird, muss folgende Anforderungen erfüllen:

- $CaCO_3$-Gehalt ≥ 75 M.-%
- Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC):
  - LL: TOC ≤ 0,20 M.-%
  - L: TOC ≤ 0,50 M.-%

Silicastaub (D)
Silicastaub entsteht in Lichtbogenöfen bei der Herstellung von Silicium- und Ferrosiliciumlegierungen. Er besteht aus sehr feinen kugeligen Partikeln mit einem Gehalt an amorphem Siliciumdioxid von mindestens 85 M.-% und weist puzzolanische Eigenschaften auf.

Calciumsulfat
Calciumsulfat wird dem Zement zur Regelung des Erstarrungsverhaltens zusätzlich zu den Haupt- und Nebenbestandteilen zugegeben. Calciumsulfat kann als Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), Halbhydrat ($CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$), Anhydrit ($CaSO_4$), oder als Mischung davon zugegeben werden.

Zusätze
Zusätze sind Stoffe, die in den vorgenannten Zementbestandteilen nicht erfasst sind. Sie werden in geringen Mengen zugegeben, um die Herstellung oder Eigenschaften des Zements zu verbessern. Dies können beispielsweise Mahlhilfsmittel oder verflüssigende Zusätze sein. Die Gesamtmenge darf 1,0 M.-%, bezogen auf den Zement (ausgenommen Pigmente), nicht überschreiten. Bei organischen Zusatzmitteln im Trockenzustand liegt der maximale Anteil bei 0,2 M.-%.

Tonerdezementklinker
Tonerdezementklinker wird durch Schmelzen oder Sinterung einer genau festgelegten Mischung aus aluminium- oder kalkhaltigen Einsatzstoffen hergestellt.

1.2 Zement nach DIN EN 197-1

In DIN EN 197-1 sind die Anforderungen an Normalzemente, Normalzemente mit niedriger Hydratationswärme (LH), Normalzemente mit hohem Sulfatwiderstand (SR) und Normalzemente mit niedriger Anfangsfestigkeit (L) geregelt.

Tabelle 1.2. a: Zusammensetzung der 27 Normalzemente nach DIN EN 197-1

Hauptzementarten	Bezeichnung der 27 Normalzemente		Portlandzementklinker	Hüttensand	Silicastaub	Puzzolane	
						natürlich	
			K	S	D [2]	P	
CEM I	Portlandzement	CEM I	95-100	-	-	-	
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	
	Portlandsilicastaubzement	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	
	Portlandpuzzolanzement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	
	Portlandflugaschezement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	
	Portlandschieferzement	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	
	Portlandkalksteinzement	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	
	Portlandkompositzement [3]	CEM II/A-M	80-88	<			
		CEM II/B-M	65-79	<			
CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	
CEM IV	Puzzolanzement [3]	CEM IV/A	65-89	-	<		
		CEM IV/B	45-64	-	<		
CEM V	Kompositzement [3]	CEM V/A	40-64	18-30	-	<	
		CEM V/B	20-38	31-49	-	<	

[1] Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf die Summe der Haupt- und Nebenbestandteile.
[2] Der Anteil von Silicastaub ist auf 10 M.-% begrenzt.

Hauptbestandteile [M.-%] [1]							Nebenbestandteile [M.-%]
	Puzzolane	Flugasche		gebrannter Schiefer	Kalkstein		
	natürlich getempert	kieselsäurereich	kalkreich				
	Q	V	W	T	L	LL	
	-	-	-	-	-	-	0-5
	-	-	-	-	-	-	0-5
	-	-	-	-	-	-	0-5
	-	-	-	-	-	-	0-5
	-	-	-	-	-	-	0-5
	-	-	-	-	-	-	0-5
	6-20	-	-	-	-	-	0-5
	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	-	6-20	-	-	-	-	0-5
	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	-	-	6-20	-	-	-	0-5
	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	-	-	-	6-20	-	-	0-5
	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	-	-	-	-	6-20	-	0-5
	-	-	-	-	21-35	-	0-5
	-	-	-	-	-	6-20	0-5
	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	12-20 ——>						0-5
	21-35 ——>						0-5
	-	-	-	-	-	-	0-5
	-	-	-	-	-	-	0-5
	-	-	-	-	-	-	0-5
11-35 ——>				-	-	-	0-5
36-55 ——>				-	-	-	0-5
18-30 ——>			-	-	-	-	0-5
31-49 ——>			-	-	-	-	0-5

[3] In den Portlandkompositzementen CEM II/A-M und CEM II/B-M, in den Puzzolanzementen CEM IV/A und CEM IV/B und in den Kompositzementen CEM V/A und CEM V/B müssen die Hauptbestandteile außer Portlandzementklinker durch die Bezeichnung des Zements angegeben werden.

1.2.1 Normalzement mit niedriger Hydratationswärme (LH-Zement)

Normalzemente mit niedriger Hydratationswärme (LH) dürfen den charakteristischen Wert von 270 J/g nach

- 7 Tagen (Prüfung nach DIN EN 196-8) oder
- 41 Stunden (Prüfung nach DIN EN 196-9)

nicht überschreiten.

1.2.2 Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement)

Normalzemente mit hohem Sulfatwiderstand (SR) sind:

- Portlandzement (CEM I-SR 3) [1] mit höchstens 3 M.-% C_3A und höchstens 5 M.-% Al_2O_3; der Gehalt des Klinkers an Tricalciumaluminat (C_3A) wird aus einer chemischen Analyse nach folgender Formel berechnet (Angaben M.-%):

$$C_3A = 2{,}65 \cdot Al_2O_3 - 1{,}69 \cdot Fe_2O_3$$

- Hochofenzemente CEM III/B-SR und CEM III/C-SR

1.2.3 Normalzement mit niedriger Anfangsfestigkeit (L-Zement)

Normalzemente mit niedriger Anfangsfestigkeit (L) sind CEM III-Zemente. Die Anforderungen an die Anfangsfestigkeiten sind Tabelle 1.5.1.a zu entnehmen.

1.2.4 Normbezeichnung

Zemente nach DIN EN 197-1 werden gekennzeichnet durch Angabe

- der Hauptzementart und der Normbezeichnung,
- des Kurzzeichens der Zementart,
- der Festigkeitsklasse 32,5, 42,5 oder 52,5 und
- der Anfangsfestigkeit: N (übliche Anfangsfestigkeit), R (hohe Anfangsfestigkeit) oder L (niedrige Anfangsfestigkeit, gilt nur für CEM III Zemente).
- Einer Zahl oder von zwei frei wählbaren Kleinbuchstaben, jeweils in Klammern, sofern verschiedene Zemente eines Herstellers im selben Werk hergestellt werden (Beispiel siehe BTD-Kapitel 1.3.1).

[1] In DIN EN 197-1 werden noch weitere Portlandzemente mit hohem Sulfatwiderstand beschrieben. Ihre Anwendung ist aber in Deutschland nicht vorgesehen.

Normalzemente mit niedriger Hydratationswärme erhalten zusätzlich die Kennzeichnung LH, Normalzemente mit hohem Sulfatwiderstand SR. Bei CEM I mit hohem Sulfatwiderstand ist zusätzlich der C_3A-Gehalt im Klinker anzugeben.

Beispiele für die Normbezeichnung

- Portlandzement der Festigkeitsklasse 32,5 mit hoher Anfangsfestigkeit (R):

  Portlandzement EN 197-1 – CEM I 32,5 R

- Portlandkompositzement mit einem Hüttensand- und Kalksteingehalt zwischen 21 und 35 M.-%, mit einem TOC-Gehalt des Kalksteins ≤ 0,20 M.-% und der Festigkeitsklasse 42,5 mit üblicher Anfangsfestigkeit (N):

  Portlandkompositzement EN 197-1 – CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N

- Portlandzement mit einem C_3A-Gehalt im Klinker ≤ 3,0 M.-% der Festigkeitsklasse 42,5 mit hoher Anfangsfestigkeit (R) und hohem Sulfatwiderstand (SR):

  Portlandzement EN 197-1 – CEM I 42,5 R – SR3

- Hochofenzement mit einem Hüttensandgehalt zwischen 66 und 80 M.-%, der Festigkeitsklasse 32,5 mit üblicher Anfangsfestigkeit (N) und niedriger Hydratationswärme (LH):

  Hochofenzement EN 197-1 – CEM III/B 32,5 N – LH

- Hochofenzement mit einem Hüttensandgehalt zwischen 81 und 95 M.-%, der Festigkeitsklasse 32,5 mit niedriger Anfangsfestigkeit (L), niedriger Hydratationswärme (LH) und hohem Sulfatwiderstand (SR):

  Hochofenzement EN 197-1 – CEM III/C 32,5 L – LH/SR

1.3 Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164

Es gelten die Anforderungen der DIN EN 197-1 sowie zusätzliche bzw. abweichende Anforderungen nach DIN 1164 Teil 10 bis 12. Sie werden durch zusätzliche Bezeichnungen gekennzeichnet.

1.3.1 Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt nach DIN 1164-10 (na)-Zement [1)]

Zur Vermeidung von betonschädlichen Alkalireaktionen kann es bei bestimmten Gesteinskörnungen erforderlich sein, in besonderen Anwendungsfällen (siehe BTD-Kapitel 2.5) bei der Betonherstellung Zemente mit einem niedrigen wirksamen Alkaligehalt zu verwenden.

Tabelle 1.3.1.a: Zusätzliche Anforderungen an Zemente mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt nach DIN 1164-10

Zementart	Anforderungen an das Na_2O-Äquivalent [M.-%]
CEM I bis CEM V	≤ 0,60
Darüber hinaus gilt für folgende Zemente die Anforderung:	
CEM II/B-S	≤ 0,70
CEM III/A [1)]	≤ 0,95
CEM III/A [2)]	≤ 1,10
CEM III/B	≤ 2,00
CEM III/C	

[1)] Gilt bei Hüttensandgehalt ≤ 49 M.-%. [2)] Gilt bei Hüttensandgehalt ≥ 50 M.-%.

Entsprechend der DIN 1164-10 wird zur Beurteilung von Zementen mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt der Gesamtalkaligehalt, ausgedrückt als Na_2O-Äquivalent, verwendet.

Der Gesamtalkaligehalt wird als Na_2O-Äquivalent nach folgender Formel berechnet (Angaben in M.-%):

$$Na_2O\text{-Äquivalent} = Na_2O + 0{,}658 \cdot K_2O$$

Bei HeidelbergCement werden diese Zemente mit (na) gekennzeichnet, z. B. CEM I 52,5 R (na)

[1)] Nach Urteil des Europäischen Gerichtshofes (EuGH) sind zusätzliche Anforderungen an Bauprodukte nach harmonisierten Normen nicht zulässig.
Zemente nach DIN 1164-10 müssen daher künftig als Zement nach EN 197-1 mit CE-Zeichen in Verkehr gebracht werden.
Das bisher geforderte Übereinstimmungszeichen „Ü“ darf nicht mehr verwendet werden. In den Herstellerangaben wird die „NA-Eigenschaft“ eines Zements gesondert, d. h. außerhalb der für EN 197-1 üblichen Leistungserklärung zugesichert.

Normbezeichnung nach DIN EN 197-1 mit zusätzlicher (na)-Kennzeichnung

Hochofenzement mit einem Hüttensandgehalt zwischen 66 und 80 M.-%, der Festigkeitsklasse 42,5 mit normaler Anfangsfestigkeit (N) sowie niedriger Hydratationswärme (LH), hohem Sulfatwiderstand (SR) und niedrigem wirksamen Alkaligehalt nach DIN 1164-10:

Hochofenzement EN 197-1 – CEM III/B 42,5 N – LH/SR (na)

1.3.2 Zement mit verkürztem Erstarren nach DIN 1164-11 (FE-Zement und SE-Zement)

Nach DIN 1164-11 werden Zemente mit frühem Erstarren (FE) und schnell erstarrende Zemente (SE) unterschieden. An das Erstarren gelten die Anforderungen nach Tabelle 1.5.2.a.

Normbezeichnung

Portlandkalksteinzement mit einem Kalksteingehalt LL zwischen 6 und 20 M.-%, der Festigkeitsklasse 42,5 mit hoher Anfangsfestigkeit (R) und frühem Erstarren (FE) nach DIN 1164-11:

Portlandkalksteinzement DIN 1164 – CEM II/A-LL 42,5 R - FE

1.3.3 Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen (HO-Zement) nach DIN 1164-12

Nach DIN 1164-12 darf der Anteil der organischen Zementzusätze 1 M.-% bezogen auf den Zement nicht überschreiten.

Normbezeichnung

Portlandkalksteinzement mit einem Kalksteingehalt LL zwischen 6 und 20 M.-%, der Festigkeitsklasse 42,5 mit hoher Anfangsfestigkeit (R) und einem erhöhten Anteil an organischen Zusätzen (HO) nach DIN 1164-12:

Portlandkalksteinzement DIN 1164 – CEM II/A-LL 42,5 R - HO

1.4 Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme nach DIN EN 14216 (VLH-Zement)

Sonderzemente VLH nach DIN EN 14216 sind Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme in der Festigkeitsklasse 22,5 (siehe Tabelle 1.5.1.a). Die Hydratationswärme darf den charakteristischen Wert von 220 J/g nach

- 7 Tagen (Prüfung nach DIN EN 196-8) oder
- 41 Stunden (Prüfung nach DIN EN 196-9)

nicht überschreiten.

Tabelle 1.4.a: Die sechs Sonderzemente mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH) nach DIN EN 14216

Haupt-zement-arten	Bezeichnung der sechs Sonderzemente		Portland-zement-klinker	Hüttensand	Silicastaub	
			K	S	D [2]	
VLH III	Hochofenzement	VLH III/B	20-34	66-80	-	
		VLH III/C	5-19	81-95	-	
VLH IV	Puzzolanzement [3]	VLH IV/A	65-89	-	<———	
		VLH IV/B	45-64	-	<———	
VLH V	Kompositzement [3]	VLH V/A	40-64	18-30	-	
		VLH V/B	20-38	31-50	-	

[1] Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf die Summe der Haupt- und Nebenbestandteile.
[2] Der Anteil von Silicastaub ist auf 10 M.-% begrenzt.
[3] In den Puzzolanzementen VLH IV/A und VLH IV/B und in den Kompositzementen VLH V/A und VLH V/B müssen die Hauptbestandteile außer Portlandzementklinker durch die Bezeichnung des Zements angegeben werden.

Normbezeichnung

Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme mit einem Hüttensandgehalt zwischen 81 und 95 M.-% nach DIN EN 14216:

Sonder-Hochofenzement mit sehr niedriger Hydratationswärme
EN 14216 – VLH III/C 22,5

Zusammensetzung [M.-%] [1]					
Hauptbestandteile					Nebenbestandteile
	Puzzolane		Flugasche		
	natürlich	natürlich getempert	kieselsäurereich	kalkreich	
	P	Q	V	W	
	-	-	-	-	0-5
	-	-	-	-	0-5
	11-35			>	0-5
	36-55			>	0-5
	<	18-30	>	-	0-5
	<	31-50	>	-	0-5

1.5 Zementeigenschaften

1.5.1 Druckfestigkeit

Tabelle 1.5.1.a: Anforderungen an die Druckfestigkeit

Festigkeits-klasse	Druckfestigkeit [MPa]			
	Anfangsfestigkeit		Normfestigkeit	
	2 Tage	7 Tage	28 Tage	
22,5 [1]	-	-	≥ 22,5	≤ 42,5
32,5 L [2]	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 N	-	≥ 16,0		
32,5 R	≥ 10,0	-		
42,5 L [2]	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 N	≥ 10,0	-		
42,5 R	≥ 20,0	-		
52,5 L [2]	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-
52,5 N	≥ 20,0	-		
52,5 R	≥ 30,0	-		

[1] Gilt nur für Sonderzemente VLH nach DIN EN 14216.
[2] Gilt nur für Hochofenzemente mit niedriger Anfangsfestigkeit.

1.5.2 Erstarren

Das Erstarren des Zementes ist eine Vorstufe der Erhärtung. Damit eine ausreichende Zeit für die Verarbeitung zur Verfügung steht, darf der Beginn des Erstarrens für alle Zemente nach DIN EN 197, DIN EN 14216 und DIN 1164 frühestens nach den in Tabelle 1.5.2.a genannten Zeiten erfolgen. Zemente, deren Erstarrungsbeginn früher eintritt, entsprechen nicht diesen Normen.

Tabelle 1.5.2.a: Anforderungen an das Erstarren

Festigkeitsklasse	Erstarrungsbeginn
Normalzement (N, R) und Hochofenzement mit niedriger Anfangsfestigkeit (L)	
32,5 L bis 32,5 R	≥ 75 Minuten
42,5 L bis 42,5 R	≥ 60 Minuten
52,5 L bis 52,5 R	≥ 45 Minuten
Zement mit frühem Erstarren (FE-Zement)	
32,5 N und 32,5 R	≥ 15 Minuten und < 75 Minuten
42,5 N und 42,5 R	≥ 15 Minuten und < 60 Minuten
52,5 N und 52,5 R	≥ 15 Minuten und < 45 Minuten
Schnellerstarrender Zement (SE-Zement)	
32,5 N bis 52,5 R	≤ 45 Minuten [1)]
Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH)	
22,5	≥ 75 Minuten

[1)] Prüfung mit dem Eindrückversuch nach DIN 1164-11, Anhang A.

1.5.3 Raumbeständigkeit

Zemente müssen raumbeständig sein. Sie gelten als raumbeständig, wenn sie ein Dehnungsmaß von 10 mm, bestimmt im Le-Chatelier-Ring (DIN EN 196-3), nicht überschreiten. Für SE-Zemente nach DIN 1164-11 wird die Raumbeständigkeit mit dem Kochversuch nach DIN 1164-11, Anhang A, bestimmt.

1.5.4 Hydratationswärme

Bei der Hydratation von Zement ist mit einer von der Zementart (siehe Tabelle 1.5.4.a) abhängigen Hydratationswärme zu rechnen.

Tabelle 1.5.4.a: Typische Hydratationswärmen bei vollständiger Hydratation

Zement [1)]	Hydratationswärme [J/g]
Portlandzement	375 bis 525
Portlandhüttenzement und Hochofenzement	355 bis 440
Portlandkalksteinzement	310 bis 420
Portlandpuzzolanzement	315 bis 420
Portlandschieferzement	360 bis 480
Tonerdezement	545 bis 585

[1)] Beispiele in Anlehnung an Zement-Taschenbuch (VDZ), Ausgabe 2008.

1.5.5 Farbe

Die Farbe eines Zementes hängt von den verwendeten Rohstoffen, dem Herstellungsverfahren und der Mahlfeinheit ab. Feingemahlene Zemente sind i.d.R. heller als gröber gemahlene Zemente. Die Zementfarbe lässt keine Rückschlüsse auf die zu erwartenden Eigenschaften zu.

1.5.6 Dichte und Schüttdichte

Tabelle 1.5.6.a: Dichte und Schüttdichte

Zementart	Dichte [kg/dm³] [1)]	Schüttdichte [kg/dm³] [1)]	
		lose eingelaufen	eingerüttelt
Portlandzement	3,10	0,9 - 1,2	1,6 - 1,9
Portlandkalksteinzement	3,05		
Portlandhüttenzement	3,05		
Hochofenzement	3,00		
Portlandpuzzolanzement	2,90		

[1)] Abweichungen von diesen Durchschnittswerten sind möglich.

1.5.7 Mahlfeinheit

Je feiner Zement gemahlen ist, desto höher sind die Frühfestigkeit und die Normfestigkeit nach 28 Tagen.

Die Mahlfeinheit kann nach dem Blaine-Verfahren bestimmt werden (DIN EN 196-6) und wird als spezifische Oberfläche in cm^2/g angegeben. Dieser Blaine-Wert ist kein Maß für die Korngrößenverteilung. Eine Beurteilung der Gebrauchseigenschaften des Zementes über den Blaine-Wert ist daher nur in begrenztem Umfang möglich.

1.6 Einfluss der Lagerung

Zemente sind feuchtigkeitsempfindlich und sollten deshalb möglichst schnell verarbeitet werden. Da völliges Abschließen gegen Feuchtigkeit praktisch nicht möglich ist, sollten Zemente der Festigkeitsklasse 52,5 R höchstens einen Monat, Zemente der übrigen Festigkeitsklassen höchstens zwei Monate in trockenen Räumen gelagert werden.

Bei Lagerung von Sackzement in trockenen Räumen ist mit einem Festigkeitsverlust zu rechnen:

- 10 bis 20 % nach 3 Monaten
- 20 bis 30 % nach 6 Monaten

Die höheren Werte gelten für fein gemahlene Zemente.

Bei trockener Lagerung ist Zement frostunempfindlich.

Bezüglich Einfluß der Lagerung auf den Chromatgehalt siehe BTD-Kapitel 1.7.

1.7 Gesundheitliche Relevanz von Zement

Zemente, die Portlandzementklinker enthalten, reagieren beim Anmachen mit Wasser stark basisch (pH-Wert >12,5). Bei längerem und ungeschütztem Kontakt kann dies zu Hautreizungen und -schäden führen. Bei Augenkontakt führt bereits trockener Zement zu Reizungen.

Bei der Verarbeitung von Zement sind individuelle Vorsichtsmaßnahmen, wie das Tragen von Schutzhandschuhen oder einer Schutzbrille, erforderlich.

Die **Chemikalienverordnung (EG) Nr. 1907/2006**, (REACH) [1] sowie die **EG-Verordnung Nr. 1272/2008** (CLP) [2], regeln die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen. In diesen werden Begrifflichkeiten, Piktogramme und Gefahrensätze beschrieben. Zement ist als Gemisch eingestuft und gemäß Tabelle 1.7.a gekennzeichnet.

Die Angaben zum Umgang mit Zement und seiner gesundheitlichen Relevanz sind dem Sicherheitsdatenblatt zu entnehmen. Auf den Verpackungen sowie den Lieferscheinen sind die entsprechenden Piktogramme, Gefahrenhinweise und Sicherheitshinweise anzugeben.

Gemäß Anhang XVII, Absatz 47 der **Chemikalienverordnung** (REACH) [1] dürfen Zement und zementhaltige Zubereitungen nur in Verkehr gebracht und verwendet werden, wenn ihr Gehalt an wasserlöslichem Chrom VI (Chromat) nach Hydratisierung nicht mehr als 0,0002 M -% (2 ppm), bezogen auf die Trockenmasse des Zements, beträgt. Ausnahme ist die Verwendung in überwachten, geschlossenen und vollautomatischen Prozessen, bei denen Zement und zementhaltige Zubereitungen ausschließlich mit Maschinen in Berührung kommen und für den Verarbeiter keine Gefahr von Hautkontakten besteht.

[1] REACH: **R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation, and **R**estriction of **Ch**emicals
[2] CLP: Regulation on **C**lassification, **L**abeling and **P**ackaging of Substances and Mixtures

Bei sachgerechter, trockener Lagerung ist ein Chromatgehalt von nicht mehr als 2 ppm für folgende Zeiträume gewährleistet:

- Silozement: 2 Monate ab Verladedatum
- Sackzement: 6 Monate ab aufgedrucktem Absackdatum

Tabelle 1.7.a: Kennzeichnungspflicht gemäß EG-Verordnung Nr. 1272/2008 (CLP) [2)]

Gefahrenpiktogramme:		
Signalwort:	Gefahr	
Gefahrenhinweise:	H315 H318 H335	Verursacht Hautreizungen. Verursacht schwere Augenschäden. Kann die Atemwege reizen.
Sicherheitshinweise:	P280	Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz tragen.
	P305+P351+P338 und P310	BEI BERÜHRUNG MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen. Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.
	P302+P352 und P333+P313	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen. Bei Hautreizung oder -ausschlag: Ärztlichen Rat einholen/ ärztliche Hilfe hinzuziehen.
	P261 und P304+ P340 und P312	Einatmen von Staub vermeiden. BEI EINATMEN: Die betroffene Person an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, in der sie leicht atmet. Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONS oder Arzt anrufen.
	Ist das Produkt für jedermann erhältlich, zusätzlich:	
	P102	Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
	P501	Inhalt/Behälter zu geeigneten Abfallsammelpunkten bringen.

1.8 CE Kennzeichnung und Leistungserklärung

Die am 1. Juli 2013 eingeführte europäische Bauproduktenverordnung (BauPVO) gilt für alle Bauprodukte nach europäisch harmonisierten Normen. Sie gilt damit auch für Zemente nach DIN EN 197-1 und erfordert eine entsprechende CE-Kennzeichnung. Die CE-Kennzeichnung muss auf einem Etikett oder der Verpackung oder den Lieferdokumenten angebracht sein.

Mit der CE-Kennzeichnung dokumentiert der Hersteller, dass er die Verantwortung für die Übereinstimmung des Bauproduktes mit der in der Leistungserklärung angegebenen Leistung und die Einhaltung der europäischen Rechtsvorschriften übernimmt Dies beinhaltet die Einhaltung der Inhalte der zugehörigen Norm oder einer Europäischen Technischen Bewertung.

Mit der Einführung der neuen Bauproduktenverordnung ändern sich die bisher gültigen Begrifflichkeiten (siehe Tabelle 1.8.a).

Tabelle 1.8.a: Neue Begrifflichkeiten durch die Einführung der europäischen Bauproduktenverordnung

Bisherige Bezeichnung	Neu nach Bauproduktenverordnung
Konformitätserklärung durch Hersteller	Leistungserklärung
Konformitätsbescheinigungsverfahren	Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit
Deklarierte Eigenschaften	Leistung eines Bauproduktes
Europ. Technische Zulassung	Europ. Technische Bewertung
Zulassungsstelle (in D: DIBT)	Technische Bewertungsstelle
Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ-Stelle)	Notifizierte Stelle

Tabelle 1.8.b: Beispiel für CE-Kennzeichnung

CE	<——— CE-Symbol
840	<——— Kennnummer der notifizierten Stelle
HeidelbergCement AG Oberklamweg xxx, D- 69181 Leimen	<——— Name und die registrierte Anschrift des Herstellers oder ein Kennzeichen
12	<——— Die letzten beiden Ziffern des Jahres in dem die CE-Kennzeichnung **zuerst** angebracht wurde
0840-CPR-1234-123456-12	<——— Bezugsnummer der Leistungserklärung
EN 197-1	<——— Nummer der harmonisierten Europäischen Norm
Puzzolanzement EN 197-1 - CEM IV/A (P) 32,5 N - LH/SR	<——— Eindeutiger Kenncode des Produkttyps
Herstellung von Beton, Mörtel, Einpressmörtel etc.	<——— Verwendungszweck
Die erklärte Leistung nach Stufen oder Klassen ist durch die Normbezeichnung des Zements festgelegt.	<——— Erklärte Leistung

1.9 Tonerdezement nach DIN EN 14647 (CAC-Zement)

Tonerdezement (CAC) ist nach DIN EN 14647 europäisch geregelt, darf jedoch in Deutschland in Beton nach DIN EN/206-1/DIN 1045-2 nicht verwendet werden.

Normanforderungen

- Erstarrungsbeginn nach DIN EN 196-3: ≥ 90 Minuten
- Druckfestigkeit von Mörtel aus CAC (w/z = 0,40):
  - nach 6 Stunden: ≥ 18 MPa
  - nach 24 Stunden: ≥ 40 MPa

Normbezeichnung

Tonerdezement EN 14647 CAC

1.9.1 Tonerdezement – Herstellung und Eigenschaften

Herstellung

Tonerdezemente sind Calciumaluminat-Zemente, deren Klinker aus Bauxit und Kalkstein durch Schmelzen oder Sintern hergestellt werden. Die Hauptphasen sind CA, C_4AF, $C_{12}A_7$ und C_2AS.

Eigenschaften

- normal erstarrend, aber schnell erhärtend
- Verarbeitbarkeitszeit: ca. 1,5 bis 2 Stunden
- normale Festigkeitsentwicklung von Mörtel aus CAC (Normmörtel mit w/z = 0,40):
  - 6 bis 8 Stunden: ca. 35 bis 55 MPa
  - 1 Tag: ca. 60 bis 80 MPa
  - 28 Tage: ca. 80 bis 100 MPa
- feuerfest: Mörtel und Betone aus CAC geben beim Erhitzen das beim Erhärten gebundene Hydratwasser kontinuierlich ab, so dass eine Dehydratation ohne sprunghafte Gefügeänderung stattfindet. Bei Temperaturen um 1000 °C kommt es bei Zugabe geeigneter Gesteinskörnungen zu einer keramischen Bindung und dementsprechend zu einem erneuten Festigkeitsanstieg.
- sulfatbeständig, da C_3A-frei
- hohe Abriebfestigkeit (Abrasionswiderstand) von Mörteln und Betonen unter Verwendung von CAC
- beschleunigende Wirkung: Verwendung als Zusatz zu Portlandzementen (Anwendung in der Bauchemie für eine Vielzahl von Schnellreparatur-, Reprofilierungs- und Klebemörteln)
- hohe chemische Beständigkeit: Insbesondere gegenüber biogener Schwefelsäurekorrosion weist CAC eine wesentlich erhöhte Beständigkeit im Vergleich zu Portlandzement auf.
- Die hohe Hydratationswärmeentwicklung erfordert eine sorgfältige Nachbehandlung zur Vermeidung von Wasserverlusten an der Oberfläche, die sonst zu Absanden oder Abmehlen führen können.
- Feine oberflächliche Risse schließen sich i. d. R. beim ersten Wasserkontakt.

Besondere Hinweise:

Die Hydratation von Tonerdezement unterscheidet sich wesentlich von der des Portlandzements, da die Form der gebildeten Calciumaluminathydrate von der Temperatur, bei der die Hydratation stattfindet, abhängt. Bei Temperaturen ≤ 40 °C führt die Hydratation zu einer vorübergehenden hohen Festigkeit, die im Laufe der Zeit – abhängig von Temperatur und Feuchtigkeit – auf ein geringeres stabiles Festigkeitsniveau abfällt. Dieser als Konversion bekannte Vorgang ist auf eine unvermeidliche und unumkehrbare Umwandlung der Hydrate im Zementstein, verbunden mit einem Anstieg der Porosität, zurückzuführen.

1.10 Auswahl von Normalzementen von HeidelbergCement

Tabelle 1.10: Auswahl von Normalzementen von HeidelbergCement

Zemente	Eigenschaften													
	Festigkeits-entwicklung													
	langsam	normal	schnell	sehr schnell	hoher Sulfatwiderstand	sehr frühes Erstarren	niedrige Hydratationswärme	niedriger wirksamer Alkaligehalt	verminderte Ausblühneigung	dunkle Farbgebung	verbessertes Wasserrückhaltevermögen	hohe Nacherhärtung	Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	
Portlandzement														
CEM I 32,5 R		■											■	
CEM I 32,5 R - SE „ChronoCem“						■								
CEM I 42,5 N		■											■	
CEM I 42,5 N (na)		■						■					■	
CEM I 42,5 N - SR3		■			■					■			■	
CEM I 42,5 R			■										■	
CEM I 42,5 R - SR3 „Antisulfat“			■		■					■			■	
CEM I 42,5 R (sp)			■										■	
CEM I 52,5 N			■										■	
CEM I 52,5 N - SR3 (na) „Antisulfat“		■			■			■		■			■	
CEM I 52,5 R			■										■	
CEM I 52,5 R (na)				■				■					■	
Portlandkalksteinzement														
CEM II/A-LL 32,5 R		■											■	
CEM II/A-LL 42,5 N		■											■	
CEM II/A-LL 42,5 R „Limament“			■										■	

	Anwendungsbereich																	
	Bevorzugte Festigkeitsklassen																	
	≤ C30/37	≤ C35/45	≥ C30/37	Sulfatangriff (XA2,XA3)	Spritzbeton ohne BE, Trockenspritzverfahren	Frühhochfester Beton	Beton bei kühler Witterung	Beton bei höheren Temperaturen	Beton für massige Bauteile	Sichtbeton	Alkaliempfindliche Gesteinskörnung	Betonfertigteile	Betonwaren	Rohre und Schachtteile	Porenbeton	Estrich	Putz- und Mauermörtel	Mörtel für dunkle Fugen
	■																	
					■													
	■																	
	■										■							
	■			■														■
			■			■	■					■	■					
			■	■		■	■							■				■
	■	■	■									■						
			■			■	■					■	■		■			
	■	■	■	■			■				■	■	■	■				■
			■			■	■					■						
			■			■	■				■	■						
	■									■						■	■	
	■									■								
			■			■	■			■		■	■					

Fortsetzung Tabelle nächste Seite ▶

Zemente	Eigenschaften													
	Festigkeitsentwicklung													
	langsam	normal	schnell	sehr schnell	hoher Sulfatwiderstand	sehr frühes Erstarren	niedrige Hydratationswärme	niedriger wirksamer Alkaligehalt	verminderte Ausblühneigung	dunkle Farbgebung	verbessertes Wasserrückhaltevermögen	hohe Nacherhärtung	Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	
Portlandhüttenzement														
CEM II/A-S 42,5 N		■											■	
CEM II/A-S 42,5 R			■										■	
CEM II/A-S 42,5 R (tx) „TioCem“			■										■	
CEM II/A-S 52,5 N			■										■	
CEM II/B-S 42,5 N		■											■	
CEM II/B-S 42,5 N (na)		■						■					■	
CEM II/B-S 42,5 R		■											■	
CEM II/B-S 52,5 N			■										■	
CEM III/A 32,5 N	■												■	
CEM III/A 32,5 N - LH	■						■						■	
CEM III/A 32,5 N - LH (na)	■						■	■					■	
CEM III/A 42,5 N		■											■	
CEM III/A 42,5 N (na)		■						■					■	
CEM III/A 52,5 N - SR			■		■								■	
CEM III/B 32,5 N - LH/SR (na)	■				■		■	■					■	
CEM III/B 42,5 N - LH/SR	■				■		■					■	■	
CEM III/B 42,5 N - LH/SR (na)	■				■		■	■				■	■	
Portlandpuzzolanzement														
CEM II/B-P 32,5 R		■							■		■		■	
Puzzolanzement														
CEM IV/B (P) 32,5 N	■								■		■		■	

	Anwendungsbereich																	
	Bevorzugte Festigkeitsklassen																	
	≤ C30/37	≤ C35/45	≥ C30/37	Sulfatangriff (XA2,XA3)	Spritzbeton ohne BE, Trockenspritzverfahren	Frühhochfester Beton	Beton bei kühler Witterung	Beton bei höheren Temperaturen	Beton für massige Bauteile	Sichtbeton	Alkaliempfindliche Gesteinskörnung	Betonfertigteile	Betonwaren	Rohre und Schachtteile	Porenbeton	Estrich	Putz- und Mauermörtel	Mörtel für dunkle Fugen
			■				■			■						■	■	
			■			■	■					■	■					
	■	■	■			■	■			■		■	■					
			■			■	■					■	■					
	■									■						■	■	
	■									■	■							
	■	■	■			■				■		■	■					
		■	■			■	■			■		■	■					
	■																	
	■								■									
	■							■	■		■							
		■								■								
		■								■	■							
		■	■	■		■	■			■		■	■	■				
	■			■				■	■		■							
		■		■					■	■								
		■		■					■	■	■							
																	■	
																	■	

Fortsetzung Tabelle nächste Seite ▶

1.11 Spezialbindemittel von HeidelbergCement

Tabelle 1.11: Spezialbindemittel von HeidelbergCement

Spezialbindemittel	Eigenschaften
Verfüll- und Verpressbaustoffe	
Dämmer® - Das Original	■ hochfließfähige, stabile Suspensionen ■ flexibles Erstarrungsverhalten ■ volumenbeständig ■ zugelassen für Wasserschutzzonen I und II
MIXXAN®	■ Verfüllmaterial aus Spezialbindemittel, Kalksteinmehl und Flugasche ■ einfache Verarbeitung ■ Verarbeitungszeit und Festigkeit individuell einstellbar
Blitzdämmer®	■ entmischungsfreie, homogene, hochfließfähige Suspensionen ■ beschleunigtes Abbindeverhalten ■ erhöhte Festigkeit
Brunnen-Dämmer®	■ variables Abbindeverhalten ■ volumenbeständig ■ hoch sulfatwiderstandsfähig ■ hohe Dichtigkeit ■ mit handelsüblichen Aggregaten verarbeitbar
GrowCem®	■ expandierender Verfüllbaustoff ■ hohe Suspensionsdichte ■ hoher Widerstand gegen betonangreifende Wässer ■ schnelles Ansteifen
Verpressmörtel VPM	■ fertig gemischter Injektions- und Verfüllmörtel ■ VPM I-E (höchste Anforderungen an die Frühfestigkeitsentwicklung) ■ VPM II-E (hohe Sulfatbeständigkeit, langsame Festigkeitsentwicklung, geringe Hydratationswärme) ■ VPM III-E (hohe Sulfatbeständigkeit, hohe Frühfestigkeitsentwicklung)
Dichtwand- und Schmalwandbaubaustoffe	
DiWa-mix®	■ angepasste Verarbeitungszeiten ■ kontrollierte Festigkeitsentwicklung ■ hohe Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff ■ technisch dicht
Seku-mix®	■ angepasste Verarbeitungszeiten ■ kontrollierte Festigkeitsentwicklung ■ technisch dicht
Ground-mix	■ Produktvarianten für abdichtende (Ground-mix D) und/oder statisch wirksame Elemente (Ground-mix H) ■ auf den Boden abgestimmte Eigenschaften ■ geringer Verbrauch

	Verwendung
	■ Verfüllung unterirdischer Hohlräume aller Art ■ Bauwerkshinterfüllung ■ Verpressung von Fels und kiesigen/grobsandigen Böden ■ Abdichtung von Wasserhorizonten und Ringraumverpressungen
	■ Verfüllung unterirdischer Hohlräume
	■ Ringraumverfüllung von Mantelrohren für Gas, Erdöl, Wasser ■ kathodischer Korrosionsschutz ■ Verpressungen
	■ Ringraumabdichtung im Brunnenbau ■ entspricht Anforderungen gemäß DVGW-Merkblatt W 121 für den Brunnenbau ■ entspricht Anforderungen gemäß DVGW-Merkblatt W 270 für den Einsatz im Trinkwasserbereich
	■ Abdichtung von Bohrungen etc. gegen drückendes/artesisches Grundwasser
	■ dauerhafte Riss- und Hohlraumsanierung ■ Verfestigung von Lockergesteinen in Gebirgen ■ sichere Verpressung von schwer zugänglichen Hohlräumen
	■ Fertigmischung für den Dichtwandbau im Einphasenverfahren ■ Umschließung von Deponien und kontaminierten Standorten ■ Greifer- oder Fräsverfahren
	■ Fertigmischung für den Dichtwandbau im Einphasenverfahren ■ Umschließung von Baugruben (Baugrubensicherung) ■ Abdichtung von Dämmen und Deichen im Hochwasserschutz ■ auch für temporäre Maßnahmen ■ Greifer- oder Fräsverfahren
	■ Fertigbaustoff für den Einsatz im CSM/Soilmix-Verfahren ■ Herstellung von Dichtwänden/Baugruben ■ Bodenstabilisierung ■ Gründungselemente

Fortsetzung Tabelle nächste Seite ▶

Spezialbindemittel	Eigenschaften
Dichtwand- und Schmalwandbaubaustoffe	
SWM/SWM-C	■ steuerbare Viskositäten ■ geringe Durchlässigkeiten ■ flexible Verarbeitbarkeit ■ auch als Compound lieferbar (Steinmehlzugabe vor Ort)
Hochwärmeleitfähige Baustoffe	
CableCem®	■ sehr niedriger thermischer Widerstand ■ sehr gute Fließfähigkeit ■ wiederausbaubar
CableGel	■ sehr niedriger thermischer Widerstand ■ sehr gute Fließfähigkeit ■ zementfrei
Powercrete® premix	■ sehr gute Wärmeleitfähigkeit auch bei kompletter Austrocknung ■ mechanisch stabile Kabelbettung
ThermoCem®	■ sehr hohe Wärmeleitfähigkeit ■ hohe Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel ■ hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber betonangreifenden Wässern ■ einfache Verarbeitung
Injektionen	
Jet-Mix®	■ angepasste Verarbeitungszeiten ■ variable Viskositäten und Festigkeitsentwicklung ■ chromatarme und sulfatbeständige Mischungen
Tunnelbau	
Trockenspritzbeton	■ Bereitstellungsgemische nach DIN 18551 ■ Festigkeitsklassen C20/25 bis C30/37 ■ individuelle Anpassung der Rezepturen möglich
Horizontalbohrung	
Drill-mix®	■ niedrige Viskosität bei hohem Austragsverhalten ■ stabil gegen die Sedimentation von Bohrgut ■ recyclingfähig ■ selbsterhärtend bei flexibler Verarbeitungszeit und Festigkeitsentwicklung ■ kraftschlüssig und volumenstabil ■ anti-korrosiv ■ hochdicht
Verkehrswegebau	
Multicrete®	■ einstellbar auf den jeweiligen Bodentyp ■ variable Früh- und Endfestigkeiten ■ mittlerer bis hoher Wasseranspruch

	Verwendung
	■ Fertigbaustoff zur Herstellung von Schmalwänden ■ Vertikalabdichtungen für Deponiebau, Baugrubenherstellung, Deichbau
	■ Verfüllung des Ringraums von Kabel-/Hüllrohrsystemen bei Hochspannungskabeln ■ Unterquerung von Straßen, Bahnstrecken etc. ■ Anlandung von Offshore-Kabeln
	■ Verfüllung des Ringraums von Kabel-/Hüllrohrsystemen bei Hochspannungskabeln ■ Unterquerung von Straßen, Bahnstrecken etc. ■ Anlandung von Offshore-Kabeln
	■ Bettung von Hochspannungskabeln ■ Entschärfung von thermischen Hot Spots
	■ Hinterfüllung von Erdwärmesonden ■ Varianten für flache und tiefe Geothermie
	■ Bodenverfestigung und -abdichtung im HDI-Verfahren (Hochdruckinjektion) ■ Unterfangungen ■ Nachgründungen ■ Hebungsinjektionen
	■ untertägiger Hohlraumbau: Tunnel-, Stollen-, Berg- und Schachtbau ■ temporäre Sicherung von Hängen und Baugruben ■ dauerhafte Verstärkung oder Instandsetzung bestehender Bauwerke
	■ Ringraum- und Bohrlochstabilisierung für Horizontalspülbohrungen und Microtunneling
	■ Stabilisierung/Verfestigung von Böden und Mineralstoffgemischen ■ Einsatz im Grund- und Straßenbau, Damm- und Kanalbau

Fortsetzung Tabelle nächste Seite ▶

Spezialbindemittel	Eigenschaften
Verkehrswegebau	
Hydraulischer Tragschichtbinder HRB 32,5 E	■ Boden- und Tragschichtbinder nach DIN 18506 ■ günstige Kornverteilung ■ langsamer Erhärtungsverlauf ■ vermindert die Gefahr einer Rissbildung ■ optimiert die Rissverteilung
Recyclingbinder® HT	■ hydraulisch erhärtendes Bindemittel ■ nach DIN 18506 für teerhaltiges Ausbaumaterial ■ Immobilisierung organischer Schadstoffe ■ langsamer Erhärtungsverlauf
Schadstoffimmobilisierung/Konditionierung	
Depocrete®	■ Eigenschaften werden individuell an die Anforderungen der Verfestigung/Immobilisierung angepasst
Putz- und Mauerbinder	
Putz- und Mauerbinder MC 5	■ fein gemahlenes, hydraulisches Bindemittel nach DIN EN 413-1 ■ hohe Ergiebigkeit ■ gute Verarbeitbarkeit ■ großes Wasserrückhaltevermögen ■ rasche Bautrocknung ■ gute Festigkeiten
Putz- und Mauerbinder MC 12,5	■ fein gemahlenes, hydraulisches Bindemittel nach DIN EN 413-1 ■ hohe Ergiebigkeit ■ gute Verarbeitbarkeit ■ großes Wasserrückhaltevermögen ■ schnelle Erhärtung ■ rasche Bautrocknung ■ sehr gute Festigkeiten
Hydraulischer Kalk	
Hydraulischer Kalk HL 5	■ fein gemahlenes, hydraulisches Bindemittel nach DIN EN 459 ■ hohe Ergiebigkeit ■ gute Verarbeitbarkeit ■ gutes Wasserrückhaltevermögen ■ rasche Bautrocknung ■ gute Festigkeiten

	Verwendung
	■ Straßen- und Gleisanlagenbau ■ Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen ■ untere Tragschichten ■ Planum ■ Herstellung von Verfestigungen nach ZTV Beton StB/TL Beton-StB
	■ Herstellung hydraulisch gebundener Tragschichten ■ Wiederverwendung von Phenol- und PAK-haltigem Straßenaufbruch
	■ Verfestigung und Immobilisierung von Schadstoffen ■ Konditionierung von Schlämmen/Bohrspülungen
	■ Mauermörtel für Außen- und Innenmauern ■ Putzmörtel für Außenputz und Innenputz ■ Unterputz unter Gipsglättputzen oder Stukkaturen
	■ Mauermörtel für Außen- und Innenmauern ■ Putzmörtel für Außenputz und Innenputz ■ bevorzugt für die Herstellung von Werkmauermörteln, Putzmörtel und für Mehrkammersilosysteme
	■ Mauermörtel für Außen- und Innenraum ■ Putzmörtel für Außenputz und Innenputz ■ Unterputz unter Gipsglättputzen oder Stukkaturen

2 Gesteinskörnungen für Beton

Tabelle 2.a: Geltende Normen und Richtlinien für Gesteinskörnungen

Norm/Richtlinie	Inhalt	BTD-Kapitel
DIN EN 12620	Gesteinskörnungen für Beton	2.2
DIN 13055-1	Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel	2.3
DIN 4226-101/102	Rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 für Beton	2.4
DAfStb-Richtlinie	Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620	2.4
DAfStb-Richtlinie	Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie)	2.5
DIN EN 13139	Gesteinskörnungen für Mörtel	16

2.1 Begriffe

Tabelle 2.1.a: Begriffe zur Einteilung von Gesteinskörnungen

Einteilung nach	Gesteinskörnung	Definition/Anforderung
Herkunft	natürlich	■ natürliches mineralisches Vorkommen ■ ausschließlich mechanische Aufbereitung
	industriell hergestellt	■ mineralischer Ursprung ■ industriell hergestellt (thermischer o. a. Prozess)
	rezykliert	■ aufbereitetes anorganisches oder mineralisches Material aus Altbaustoff ■ Sammelbegriff für rezyklierten Splitt und rezyklierten Brechsand
Kornform	Kies	■ natürlich gerundetes Material
	Splitt	■ gebrochenes Material
Rohdichte	normal	■ Kornrohdichte > 2000 kg/m^3 ■ mineralischer Ursprung
	leicht	■ Kornrohdichte ≤ 2000 kg/m^3 oder Schüttdichte ≤ 1200 kg/m^3 ■ mineralischer Ursprung
Feinheit	grob	■ D ≥ 4 mm und d ≥ 2 mm
	fein	■
	Feinanteil	■ Gesteinsanteil < 0,063 mm
	Füller (Gesteinsmehl)	■ D = 0,125 mm, mindestens 70 % < 0,063 mm

Kornzusammensetzung
Korngrößenverteilung, ausgedrückt durch die Siebdurchgänge in Vol.-% durch eine festgelegte Anzahl von Sieben.

Anmerkung: Bei Gesteinskörnungen mit annähernd gleicher Rohdichte kann vereinfachend auch der Siebdurchgang in M.-% angegeben werden.

Korngemisch
Gesteinskörnung, die aus einer Mischung grober und feiner Gesteinskörnungen besteht. Die Gesteinskörnung kann werksseitig oder natürlich gemischt sein.

Korngruppe (Lieferkörnung)
Benennung einer Gesteinskörnung mittels unterer (d) und oberer (D) Siebgröße, ausgedrückt als d/D. Unterkorn (< d) und Überkorn (> D) sind zulässig. Korngruppen sind unter Verwendung des Grundsiebsatzes oder des Grundsiebsatzes plus Ergänzungssiebsatz 1 anzugeben:

- Grundsiebsatz:
  - normale Gesteinskörnung:
    0 – 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 31,5 (32) – 63 mm
  - leichte Gesteinskörnung:
    0 – 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 31,5 (32) – 63 mm
- Ergänzungssiebsatz 1:
  - normale Gesteinskörnung:
    5,6 (5) – 11,2 (11) – 22,4 (22) – 45 mm
  - leichte Gesteinskörnung:
    2,8 (3) – 5,6 (5) – 11,2 (11) – 22,4 (22) – 45 mm

Die Zahlen in Klammern können zur vereinfachten Benennung von Korngruppen (Lieferkörnungen) verwendet werden.

2.2 Anforderungen an Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 und DIN 1045-2

Die Anforderungen an Gesteinskörnungen werden i. d. R. in Kategorien (Klassen) eingeteilt. Eine Kategorie bezeichnet das Niveau einer Eigenschaft der Gesteinskörnungen und wird als Bandbreite von Werten oder als Grenzwert angegeben. Welche Eigenschaften zu prüfen und anzugeben sind, hängt von der vorgesehenen Verwendung und der Herkunft der Gesteinskörnungen ab.

Tabelle 2.2.a: Übersicht der Eigenschaften und Kategorien

Anforderungen	Eigenschaft	Kategorie
geometrische	■ Korngruppe ■ Kornzusammensetzung ■ Kornform ■ Feinanteile ■ Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen	■ d/D ■ G ■ FI, SI ■ f ■ SC
chemische	■ Gehalt an wasserlöslichen Chloridionen ■ Gehalt an säurelöslichem Sulfat ■ Gesamtschwefel	■ Herstellerangabe ■ AS
physikalische mechanische	■ Widerstand gegen Zertrümmerung ■ Verschleißwiderstand von groben Gesteinskörnungen ■ Polierwiderstand von groben Gesteinskörnungen ■ Abriebwiderstand von groben Gesteinkörnungen ■ Widerstand von groben Gesteinskörnungen gegen Abrieb durch Spikereifen	■ LA, SZ ■ M_{DE} ■ PSV ■ AAV ■ A_N
Dauerhaftigkeit	■ Frost-Tau-Widerstand, Frost-Tausalz-Widerstand ■ Raumbeständigkeit ■ Alkali-Kieselsäure-Reaktivität	■ F, MS
sonstige	■ Erstarrungs- und erhärtungsstörende Stoffe ■ Leichtgewichtige organische Verunreinigungen	

2.2.1 Kategorien

In den Tabellen 2.2.1.a bis 2.2.1.j sind diejenigen Kategorien genannt, für die Regelanforderungen gestellt werden (siehe BTD-Kapitel 2.2.2) oder für die Grenzwerte der Betonzusammensetzung (siehe BTD-Kapitel 6.3.2) gelten.

Die Norm definiert Kategorien mit dem Index „angegeben“, z. B. $f_{angegeben}$. Diese bieten dem Lieferanten von Gesteinskörnungen die Möglichkeit, bei Überschreitung der höchstmöglichen Werte nach Norm Gesteinskörnungen mit eigenen Werten einzustufen. In der Bezeichnung wird dann dieser Wert angegeben.

Beispiel: Haben grobe Gesteinskörnungen eines Lieferanten Feinanteile ≤ 5 M.-% (höchstmöglicher Wert nach Norm: 4 M.-%), kennzeichnet er diese mit der Kategorie f_5.

Tabelle 2.2.1.a: Kategorien für die Korngrößenverteilung von Gesteinskörnungen für Beton

Gesteins-körnung	Korngröße [mm]	Kategorie G	Siebdurchgang [M.-%]				
			2D	1,4D [1) 2)]	D [3)]	d [2)]	d/2 [1) 2)]
grob	D/d ≤ 2 oder D ≤ 11,2	$G_C85/20$	100	98-100	85-99	0-20	0-5
		$G_C80/20$	100	98-100	80-99	0-20	0-5
	D/d > 2 und D > 11,2	$G_C90/15$	100	98-100	90-99	0-15	0-5
fein	D ≤ 4 und d = 0	G_F85	100	95-100	85-99	-	-
natürlich zusammen-gesetzte Gesteins-körnung 0/8	D = 8 und d = 0	$G_{NG}90$	100	98-100	90-99	-	-
Korn-gemisch	D ≤ 45 und d = 0	G_A90	100	98-100	90-99	-	-
		G_A85	100	98-100	85-99	-	-

[1)] Wenn die berechneten Siebe nicht genau mit der ISO 565, R20-Reihe übereinstimmen, muss stattdessen das nächstliegende Sieb der Reihe gewählt werden.
[2)] Für Beton mit Ausfallkörnung oder andere spezielle Verwendungszwecke können zusätzliche Anforderungen vereinbart werden.
[3)] Wenn der Siebdurchgang > 99 M.-% ist, muss der Hersteller die typische Kornzusammensetzung angeben.

Tabelle 2.2.1.b: Grenzabweichungen von der vom Hersteller angegebenen typischen Kornzusammensetzung von feinen Gesteinskörnungen

Siebgröße [mm]	Grenzabweichungen für den Siebdurchgang [M.-%]					
	allgemeine Verwendungszwecke			spezielle Verwendungszwecke		
	0/4	0/2	0/1	0/4	0/2	0/1
4	± 5 [1)]	-	-	± 5 [1)]	-	-
2	-	± 5 [1)]	-	-	± 5 [1)]	-
1	± 20	± 20	± 5 [1)]	± 10	± 10	± 5 [1)]
0,250	± 20	± 25	± 25	± 10	± 15	± 15
0,063 [2)]	± 3	± 5	± 5	± 3	± 5	± 5

[1)] Zusätzlich gelten die Anforderungen nach Tabelle 2.2.1.a.
[2)] Zusätzlich gelten die Höchstwerte des Gehaltes an Feinanteilen nach Tabelle 2.2.1.c.

Tabelle 2.2.1.c: Einstufung des Gehaltes an Feinanteilen

Gesteinskörnung	Kategorie f	Siebdurchgang durch das 0,063 mm-Sieb [M.-%]
grobe Gesteinskörnung	$f_{1,5}$	≤ 1,5
	f_4	≤ 4
	$f_{angegeben}$	> 4
	f_{NR}	keine Anforderung
natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 mm	f_3	≤ 3
	f_{10}	≤ 10
	f_{16}	≤ 16
	$f_{angegeben}$	> 16
	f_{NR}	keine Anforderung
Korngemisch	f_3	≤ 3
	f_{11}	≤ 11
	$f_{angegeben}$	> 11
	f_{NR}	keine Anforderung
feine Gesteinskörnung (Sand)	f_3	≤ 3
	f_{10}	≤ 10
	f_{16}	≤ 16
	f_{22}	≤ 22
	$f_{angegeben}$	> 22
	f_{NR}	keine Anforderung

Tabelle 2.2.1.d: Einstufung des Frost-Tau-Widerstandes

Kategorie F	Masseverlust [M.-%] [1)]
F_1	≤ 1
F_2	≤ 2
F_4	≤ 4
$F_{angegeben}$	> 4
F_{NR}	keine Anforderung

[1)] Alternativ kann auch eine Prüfung nach DIN EN 1367-1, Anhang B, unter Verwendung einer 1%igen NaCl-Lösung oder Urea vereinbart werden. Die Grenzwerte dieser Tabelle sind dann nicht anwendbar.

Tabelle 2.2.1.e: Einstufung der Magnesiumsulfat-Widerstandsfähigkeit

Kategorie MS	Masseverlust [M.-%] [1]
MS_{18}	≤ 18
MS_{25}	≤ 25
MS_{35}	≤ 35
$MS_{angegeben}$	> 35
MS_{NR}	keine Anforderung

[1] Alternativ kann auch eine Prüfung nach DIN EN 1367-6 unter Verwendung einer 1%igen NaCl-Lösung vereinbart werden. Grenzwert: Masseverlust ≤ 8 M.-% für die Kategorien MS_{18} und MS_{25}.
Bei einem Masseverlust > 8 M.-% oder Nichterfüllung der Anforderungen an MS_{18} und MS_{25} sind alternativ Frost-Tausalz-Prüfungen am Beton nach DIN V 18004, Abschnitt 4, möglich; Anforderung: Abwitterung ≤ 500 g/m² nach 56 Frost-Tauwechseln. Andere Grenzwerte können im Einzelfall vereinbart werden.

Tabelle 2.2.1.f: Höchstwerte der Anteile leichtgewichtiger organischer Verunreinigungen

Gesteinskörnung	Anteil leichtgewichtiger organischer Verunreinigungen [1] [2] [M.-%]	
	Normalfall	Besondere Anforderung an Betonoberfläche
feine Gesteinskörnungen (Sand)	≤ 0,50	≤ 0,25
grobe Gesteinskörnungen	≤ 0,10	≤ 0,05

[1] Z. B.: Holz, Torf, Braunkohle, Blätter.
[2] Bestimmung der Anteile nach DIN EN 1744-1.

Tabelle 2.2.1.g: Einstufung der Plattigkeitskennzahl

Kategorie FI	Plattigkeitskennzahl
FI_{15}	≤ 15
FI_{20}	≤ 20
FI_{35}	≤ 35
FI_{50}	≤ 50
$FI_{angegeben}$	> 50
FI_{NR}	keine Anforderung

Tabelle 2.2.1.h: Einstufung der Kornformkennzahl

Kategorie SI	Kornformkennzahl
SI_{15}	≤ 15
SI_{20}	≤ 20
SI_{40}	≤ 40
SI_{55}	≤ 55
$SI_{angegeben}$	> 55
SI_{NR}	keine Anforderung

Tabelle 2.2.1.i: Einstufung des säurelöslichen Sulfatgehaltes

Gesteinskörnung	Kategorie AS	Säurelöslicher Sulfatgehalt SO_3 [M.-%]
alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstückschlacken	$AS_{0,2}$	≤ 0,2
	$AS_{0,8}$	≤ 0,8
	$AS_{angegeben}$	> 0,8
	AS_{NR}	keine Anforderung
Hochofenstückschlacken	$AS_{1,0}$	≤ 1,0
	$AS_{angegeben}$	> 1,0
	AS_{NR}	keine Anforderung

Tabelle 2.2.1.j: Einstufung des Muschelschalengehalts grober Gesteinskörnungen

Kategorie SC	Muschelschalengehalt [M.-%]
SC_{10}	≤ 10
$SC_{angegeben}$	> 10
SC_{NR}	keine Anforderung

2.2.2 Regelanforderungen

Tabelle 2.2.2.a: Regelanforderungen nach DIN 1045-2 an Gesteinskörnungen

Eigenschaft	Regelanforderung
Kornzusammensetzung	
grobe Gesteinskörnungen mit D/d ≤ 2 oder D ≤ 11,2	$G_C85/20$
feine Gesteinskörnungen	Tabelle 2.2.1.b (allgemeine Verwendungszwecke)
Korngemische	G_A90
Kornform	FI_{50} oder SI_{55}
Kornrohdichte	Herstellerangabe
Muschelschalengehalt	SC_{10}
Wasseraufnahme	Herstellerangabe
Feinanteile	
grobe Gesteinskörnung	$f_{1,5}$
natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8	f_3
Korngemisch	f_3
feine Gesteinskörnung	f_3
Leichtgewichtige organische Verunreinigungen	
feine Gesteinskörnung	≤ 0,5 M.-%
grobe Gesteinskörnung, natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 und Korngemisch	≤ 0,1 M.-%
Weitere Eigenschaften	
Frost-Tau-Widerstand	F_4
Chloride	≤ 0,04 M.-% bei Betonstahlbewehrung ≤ 0,02 M.-% bei Spannstahlbewehrung ≤ 0,15 M.-% ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall
säurelösliches Sulfat für alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstückschlacken	$AS_{0,8}$
säurelösliches Sulfat für Hochofenstückschlacken	$AS_{1,0}$
Gesamtschwefel für alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstückschlacken	≤ 1 M.-%
Gesamtschwefel für Hochofenstückschlacken	≤ 2 M.-%
Alkaliempfindlichkeitsklasse	Herstellerangabe
Umweltverträglichkeit industriell hergestellter Gesteinskörnungen [1)]	Nachweis über allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

[1)] Gilt nicht für kristalline Hochofenstückschlacke, Hüttensand und Schmelzkammergranulat.

Für folgende Eigenschaften ist als Regelanforderung die Kategorie „keine Anforderung“ festgelegt: MS_{NR}, LA_{NR}, SZ_{NR}, $M_{DE}NR$, PSV_{NR}, AAV_{NR}, A_NNR, Raumbeständigkeit. Nur für besondere Anwendungsfälle sind erhöhte Anforderungen festgelegt, wie z.B. MS_{25} für die Expositionsklasse XF2 und MS_{18} für die Expositionsklasse XF4.

2.2.3 Anforderungen an die Kornzusammensetzung der gebräuchlichsten Korngruppen

Tabelle 2.2.3.a stellt die Anforderungen an die Kornzusammensetzung der gebräuchlichsten Korngruppen zusammen. Wo die Norm für bestimmte Anforderungen mehrere Kategorien definiert, sind nur die Regelanforderungen nach Tabelle 2.2.2.a berücksichtigt.

Tabelle 2.2.3.a: Anforderungen an die Kornzusammensetzung der gebräuchlichsten Korngruppen

Korngruppe	Grenzwerte (absolut) und Grenzabweichungen [1]					
	0,063	0,25	1	2	2,8	4
0/2	3 [2]			85-99 [3]	95-100	100
	±5	±25	±20	±5		
0/4	3 [2]					85-99 [3]
	±3	±20	±20			±5
2/4	1,5 [2]		0-5	0-20		85-99 [3] [4]
2/5	1,5 [2]		0-5	0-20		
2/8	1,5 [2]		0-5	0-20		
4/8	1,5 [2]			0-5		0-20
5/8	1,5 [2]				0-5	
8/11	1,5 [2]					0-5
8/16	1,5 [2]					0-5
11/16	1,5 [2]					
16/22	1,5 [2]					
16/32	1,5 [2]					
22/32	1,5 [2]					

[1] Die Grenzabweichungen gelten für die vom Hersteller angegebene typische Kornzusammensetzung.

[2] Aus Regelanforderungen f_3 bzw. $f_{1,5}$ siehe Tabelle 2.2.2.a.

für den Siebdurchgang durch die Prüfsiebe [M.-%]							
5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	45	63
95-100	100						
98-100	100						
85-99 [3) 4)]	98-100	100					
	85-99 [3) 4)]	98-100	100				
	85-99 [3) 4)]	98-100	100				
0-20	85-99 [3) 4)]	98-100	100				
	0-20	85-99 [3) 4)]	98-100	100			
	0-20		85-99 [3) 4)]	98-100	100		
0-5		0-20	85-99 [3) 4)]	98-100	100		
	0-5		0-20	85-99 [3) 4)]	98-100	100	
	0-5		0-20		85-99 [3) 4)]	98-100	100
		0-5		0-20	85-99 [3) 4)]	98-100	100

[3)] Wenn der Siebdurchgang > 99 M.-% ist, muss der Hersteller die typische Kornzusammensetzung angeben.

[4)] Regelanforderung siehe Tabelle 2.2.2.a.

2.3 Anforderungen an leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1 und DIN 1045-2

Tabelle 2.3.a: Zulässige Gesteinskörnungen für die Verwendung in Leichtbeton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Herkunft	Gesteinskörnung
natürliche Gesteinskörnungen	Lava (Lavaschlacke), Naturbims, Tuff
industriell hergestellte Gesteinskörnungen	Blähglas [1)], Blähglimmer [1)] (Vermiculit), Blähperlit [1)], Blähschiefer, Blähton, gesinterte Steinkohlenflugaschepellets, Ziegelsplitt aus ungebrauchten Ziegeln
industrielle Nebenprodukte	Kesselsand [1)]

[1)] Nicht für Spannbeton.

Bei der Verwendung von leichten Gesteinskörnungen in Beton oder Mörtel ist u. a. zu beachten:

- Die Schüttdichte muss vom Hersteller angegeben werden. Sie darf vom Nennwert um nicht mehr als ± 15 % abweichen, höchstens jedoch um ± 100 kg/m^3.
- Feinanteile, beurteilt nach DIN EN 12620, Anhang D, müssen unschädlich sein.
- Natürliche leichte Gesteinskörnungen sind hinsichtlich Erstarren und Druckfestigkeit des Betons nach DIN EN 1744-1, Abschnitt 15, zu beurteilen.
- Für natürliche Gesteinskörnungen ist die Verwendbarkeit hinsichtlich Alkali-Kieselsäure-Reaktion nachzuweisen; Ausnahme: Tuff, Naturbims, Lava. Der Alkaliwiderstand ist auch für Blähglasgranulat nachzuweisen.
- Erstarrungs- und erhärtungsstörende Bestandteile dürfen nicht in solchen Mengen enthalten sein, dass das Erstarren und Erhärten signifikant negativ verändert wird.

Tabelle 2.3.b: Regelanforderungen nach DIN 1045-2 an leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1

Eigenschaft		Anforderung
Kornzusammensetzung		D/d ≥ 1,4
Feinanteile		anzugeben
Feinanteile	feine leichte Gesteinskörnung	f_3 (nur natürliche leichte Gesteinskörnung)
	Korngemisch	f_3 (nur natürliche leichte Gesteinskörnung)
	grobe leichte Gesteinskörnung	$f_{1,5}$ (nur natürliche leichte Gesteinskörnung)
Kornrohdichte [1]		anzugeben
Wasseraufnahme (w_{60}) [2]		anzugeben
Kornfestigkeit [3]		≤ 15 % zulässige Abweichung vom deklarierten Wert
Frost-Tau-Widerstand [4]		F_4 für XF1 und F_2 für XF3
Frost-Tausalz-Widerstand [5]		≤ 500 g/m² [5]
Chloride [6]		≤ 0,04 M.-% bei Betonstahlbewehrung ≤ 0,02 M.-% bei Spannstahlbewehrung ≤ 0,15 M.-% ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall
säurelösliches Sulfat		≤ 0,8 M.-%
Gesamtschwefel		≤ 1 M.-%
Glühverlust (nur Kesselsand)		≤ 5 M.-%
organische Bestandteile [7]		anzugeben

1) Alternativ die wirksame Kornrohdichte nach DIN V 18004, Abschnitt 5.2.4.2, wenn sie nicht mehr als ± 15 % vom deklarierten Wert abweicht, höchstens jedoch um ± 150 kg/m³.
2) Alternativ die Wasseraufnahme (w_{BVK}) nach DIN V 18004, Abschnitt 5.3, oder die Wasseraufnahme (w_{60}) nach DIN V 18004, Abschnitt 7.
3) Alternativ die Kornfestigkeit nach DIN V 18004, Abschnitt 5.4.
4) Alternativ ist die Prüfung des Frostwiderstandes am Beton nach DIN V 18004, Abschnitt 4, möglich; Anforderung: Abwitterung ≤ 500 g/m² nach 56 Frost-Tauwechseln; alternativ Prüfung mit der tatsächlichen Betonzusammensetzung möglich. Der angegebene Grenzwert ist vorläufig, andere Grenzwerte können im Einzelfall vereinbart werden.
5) Für Verwendung in XF2 bzw. XF4 kann die Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes am Beton nach DIN V 18004, Abschnitt 4.3, erfolgen; Anforderung: Abwitterung ≤ 500 g/m² nach 56 Frost-Tauwechseln; alternativ Prüfung mit der tatsächlichen Betonzusammensetzung möglich. Der angegebene Grenzwert ist vorläufig, andere Grenzwerte können im Einzelfall vereinbart werden.
6) Andernfalls ist der Chloridgehalt des Betons nachzuweisen.
7) Natürliche leichte Gesteinskörnungen sind hinsichtlich Erstarrungszeit und Druckfestigkeit des Betons nach DIN EN 1744-1, Abschnitt 15, zu beurteilen.

2.4 Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620

Für rezyklierte Gesteinskörnungen mit einer Kornrohdichte ≥ 1500 kg/m^3 gelten in Deutschland DIN EN 12620:2008-07 in Verbindung mit DIN 4226-101 und DIN 4226-102:

- DIN EN 12620:2008-07 (Gesteinskörnungen für Beton)
- DIN 4226-101 (Typen und geregelte gefährliche Substanzen)
- DIN 4226-102 (Typprüfung und Werkseigene Produktionskontrolle)

Ihre Verwendung in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ist in der DAfStB-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“ geregelt.

Rezyklierte Gesteinskörnungen müssen nach DIN EN 12620 bezeichnet und gekennzeichnet werden. Eine Leistungserklärung sowie CE-Kennzeichnung gemäß BauPVO mit Verweis auf DIN 4226-101 sind erforderlich.

In DIN 4226-101 werden rezyklierte Gesteinskörnungen > 2 mm entsprechend ihrer stofflichen Zusammensetzung in 4 Typen eingeteilt. In Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 dürfen nur die Gesteinskörnungen Typ 1 und Typ 2 verwendet werden (siehe Tabelle 2.4.a).

Tabelle 2.4.a: Zusammensetzung rezyklierter Gesteinskörnungen Typ 1 und Typ 2 nach DIN 4226-101

Bestandteile[1)] [M.-%]	Kategorie der Gesteinskörnung	
	Typ 1	Typ 2
Rc und Ru	Rcu_{90}	Rcu_{70}
Rb	Rb_{10-}	Rb_{30-}
Ra	Ra_{1-}	Ra_{1-}
X und Rg	XRg_{1-}	XRg_{2-}
FL	FL_{2-}	FL_{2-}

1) Rc: Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton
Ru: ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydr. geb. Gesteinskörnung
Rb: Mauersteine und Ziegel (nicht porosiert), Klinker, Steinzeug, Kalksandsteine, Mauer- und Dachziegel, Bimsbeton, nicht schwimmender Porenbeton
Ra: bitumenhaltige Materialien
Rg: Glas
X: sonstige Materialien (z. B. Ton und Boden, Metalle, Kunststoff Gummi, Gips)
FL: schwimmendes Material im Volumen

2.4.1 Regelanforderungen

Rezyklierte Gesteinskörnungen müssen Regelanforderungen erfüllen. Weitergehende Anforderungen sind bei bestimmten Expositionsklassen oder Verwendungen zu beachten.

Tabelle 2.4.1.a: Regelanforderungen für die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Eigenschaft		Kategorie der Gesteinskörnung	
		Typ 1	Typ 2
Kornzusammensetzung	grobe Gesteinskörnungen mit D/d ≤ 2 oder D ≤ 11,2	$G_{C85/20}$	$G_{C80/20}$
	Korngemisch	G_{A90}	G_{A85}
Kornform		FI_{50} oder SI_{55}	
Feinanteile	grobe Gesteinskörnung	f_4	
Kornrohdichte		≥ 2000 kg/m³	
Schwankungsbreite Mittelwert Kornrohdichte		± 150 kg/m³	
Frost-Tau-Widerstand [1)]		F_4	
säurelösliches Chlorid		≤ 0,04 M.-%	
säurelösliches Sulfat		$AS_{0,8}$	
Gesamtschwefel (außer Hochofenstückschlacke)		≤ 1 M.-%	
Organische Verunreinigungen von Gesteinskörnungen		≤ 0,1 M.-%	
maximale Wasseraufnahme nach 10 Minuten bei Gesteinskörnungen > 2 mm		10 M.-%	15 M.-%

[1)] Alternativ: Prüfung am Beton nach DAfStB-Richtlinie für Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, Anhang A.

Für folgende Eigenschaften ist als Regelanforderung die Kategorie „keine Anforderung" festgelegt: SC_{NR}, MS_{NR}, LA_{NR}, SZ_{NR}, $M_{DE}NR$, PSV_{NR}, AAV_{NR}, A_NNR, F_{NR}, Raumbeständigkeit. Nur für besondere Anwendungsfälle sind erhöhte Anforderungen festgelegt.

Falls nötig, ist bei rezyklierten Gesteinskörnungen der Gehalt an wasserlöslichen Sulfaten zu bestimmen sowie der Einfluss wasserlöslicher Materialien auf den Erstarrungsbeginn des Zementleims zu beurteilen.

2.4.2 Weitere Anforderungen

Weitergehende Anforderungen sind bei bestimmten Expositionsklassen oder Verwendungen zu beachten.

Tabelle 2.4.2.a: Weitere Anforderungen für die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Eigenschaft	Anforderung
Frost-Tau-Widerstand [1]	F_2 für XF3
Chloride [2]	Chloridgehalt ≤ 0,15 M.-% (für Beton ohne Betonstahlbewehrung oder anderes eingebettetes Material)

[1] Alternativ: Prüfung am Beton nach DAfStB-Richtlinie für Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, Anhang A.
[2] Nachweis auch am Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.7.

2.4.3 Zulässige Anteile

Tabelle 2.4.3.a: Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
Akali-Richtlinie	DIN EN 206-1/DIN 1045-2	Typ 1	Typ 2
WO (trocken)	XC1	≤ 45 Vol.-%	≤ 35 Vol.-%
WF (feucht) [1] [2]	X0 XC1 bis XC4		
	XF1 und XF3, Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 35 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
	XA1	≤ 25 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%

[1] Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen nur möglich bei bekannter Herkunft und unbedenklicher Alkaliempfindlichkeitsklasse der darin enthaltenen Gesteinskörnungen bzw. wenn bei unbekannter Herkunft in einem Gutachten eine unbedenkliche Alkaliempfindlichkeitsklasse bestätigt wird.
[2] Bei zusätzlicher häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen (Feuchtigkeitsklasse WA) ist die Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung nur möglich, wenn ein Gutachten eine unbedenkliche Alkaliempfindlichkeitsklasse für die Gesteinskörnung bestätigt.

2.5 Gesteinskörnungen mit alkalireaktiver Kieselsäure und vorbeugende Maßnahmen

Gesteinskörnungen mit alkalireaktiver Kieselsäure können mit dem im Beton gelösten Alkalihydroxid zu einem Alkalisilikat reagieren, was zu einer Volumenvergrößerung mit anschließender Schädigung des Betons führen kann. Dies wird als Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)

bezeichnet. Ablauf und Ausmaß dieses Schädigungsprozesses ist von Art und Menge der alkaliempfindlichen Gesteinskörnung, dem Alkalieintrag durch Zement bzw. Taumittel sowie den Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen während der Nutzung des Betonbauteils abhängig.

Zur Vermeidung von Schäden gilt in Deutschland die DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“ (Alkali-Richtlinie). Teil 2 dieser Richtlinie beschreibt Anforderungen, Prüfung und Überwachung von Gesteinskörnung mit Opalsandstein, Kieselkreide und Flint (Feuerstein) aus bestimmten Gewinnungsgebieten Norddeutschlands sowie die dazugehörigen vorbeugenden betontechnologischen Maßnahmen. Teil 3 der Alkali-Richtlinie regelt Gesteinskörnungen aus gebrochenem oder rezykliertem Gestein.

2.5.1 Feuchtigkeitsklassen und Alkaliempfindlichkeitsklassen

Nach DIN 1045-2 sind Betonbauteile in Abhängigkeit von den zu erwartenden Umwelteinflüssen Feuchtigkeitsklassen zuzuordnen (siehe Tabellen 2.5.1.a und 6.2.1.8.a). Nach der Alkali-Richtlinie sind Gesteinskörnungen in Alkaliempfindlichkeitsklassen einzustufen (siehe Tabelle 2.5.1.b).

Tabelle 2.5.1.a: Feuchtigkeitsklassen

Feuchtigkeitsklasse	Abkürzung	Beispiele
trocken	WO	■ Innenbauteile eines Hochbaus ■ Bauteile, auf die Außenluft, aber kein Niederschlag, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken und/oder die nicht ständig einer rel. Luftfeuchte > 80 % ausgesetzt sind
feucht	WF	■ ungeschützte Außenbauteile ■ Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, in denen die rel. Luftfeuchte überwiegend > 80 % ist ■ Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung ■ massige Bauteile, deren kleinstes Maß > 0,80 m ist
feucht + Alkalizufuhr von außen	WA	■ Bauteile mit Meerwassereinwirkung ■ Bauteile mit Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung ■ Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken mit Alkalisalzeinwirkung
feucht + Alkalizufuhr von außen + starke dynamische Beanspruchung	WS [1)]	■ Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (Betonfahrbahnen der Belastungsklasse Bk100 bis Bk1,8 nach RStO)

[1)] Die Feuchtigkeitsklasse WS ist in DIN EN 1992-1-1 nicht enthalten. WS wird nur für hochbeanspruchte Fahrbahnen aus Beton nach TL Beton-StB angewendet (siehe auch BTD-Kapitel 13.3, Tabelle 13.3.1.a).

Tabelle 2.5.1.b: Alkaliempfindlichkeitsklassen

Klasse [1]	Gesteinskörnungen	Einstufung hinsichtlich AKR
E I	Gesteinskörnung die nicht aus den Gewinnungsgebieten nach Alkali-Richtlinie Teil 1, Abschnitt 2, stammt oder keine der in der Richtlinie genannten alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen enthält und es unter baupraktischen Bedingungen zu keiner schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion kommt	unbedenklich
E I-O	Opalsandstein einschließlich Kieselkreide	unbedenklich
E II-O		bedingt brauchbar
E III-O		bedenklich
E I-OF	Opalsandstein einschließlich Kieselkreide	unbedenklich
E II-OF		bedingt brauchbar
E III-OF		bedenklich
E I-S	■ gebrochene Grauwacke ■ gebrochener Quarzporphyr (Rhyolith) ■ gebrochener Oberrhein-Kies ■ rezyklierte Körnungen	unbedenklich
E III-S	■ Kies mit > 10 M.-% der vorgenannten Körnungen ■ ungebrochene Gesteinskörnungen > 2 mm aus den Gebieten der Saale, Elbe, Mulde, Elster im angrenzenden Bereich gemäß Teil 2 der Alkali-Richtlinie sowie daraus hergestellte Kiessplitte ■ andere gebrochene, nicht als unbedenklich eingestufte Gesteinskörnungen [2]	bedenklich

[1] Ist keine Klasse angegeben, so ist E III anzunehmen.
[2] Keine baupraktischen Erfahrungen im Geltungsbereich der Alkali-Richtlinie.

2.5.2 Vorbeugende Maßnahmen

Gemäß Alkali-Richtlinie sind die in den Tabellen 2.5.2.1.a bis 2.5.2.2.a genannten vorbeugenden Maßnahmen gegen schädigende Alkalikieselsäurereaktion im Beton zu ergreifen.

2.5.2.1 Gesteinskörnungen mit Opalsandstein und Flint

Tabelle 2.5.2.1.a: Vorbeugende Maßnahmen für Beton mit einem Zementgehalt [1] z ≤ 330 kg/m³

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Feuchtigkeitsklasse		
	WO	WF	WA
E I-O	keine	keine	keine
E II-O	keine	keine	(na)-Zement [2]
E III-O	keine	(na)-Zement [2]	Austausch der Gesteinskörnung

[1] Bei z ≤ 330 kg/m³ ist E I-O bis E III-O maßgebend.
[2] (na)-Zement siehe Tabelle 1.3.1.a.

Tabelle 2.5.2.1.b: Vorbeugende Maßnahmen für Beton mit einem Zementgehalt [1] z > 330 kg/m³

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Feuchtigkeitsklasse		
	WO	WF	WA
E I-OF	keine	keine	keine
E II-OF	keine	(na)-Zement [2]	(na)-Zement [2]
E III-OF	keine	(na)-Zement [2]	Austausch der Gesteinskörnung

[1] Bei z > 330 kg/m³ ist E I-OF bis E III-OF maßgebend.
[2] (na)-Zement siehe Tabelle 1.3.1.a.

2.5.2.2 Andere alkaliempfindliche Gesteinskörnungen

Tabelle 2.5.2.2.a: Vorbeugende Maßnahmen für Beton bei Alkaliempfindlichkeitsklassen E I-S bis E III-S

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Zementgehalt [kg/m³]	Feuchtigkeitsklasse		
		WO	WF	WA
E I-S	ohne Festlegung	keine	keine	keine
E III-S [1]	z ≤ 300	keine	keine	keine
	300 < z ≤ 350	keine	keine	(na)-Zement [2] [3]
	z > 350	keine	(na)-Zement [2] [3]	Austausch der Gesteinskörnung

[1] Gilt auch für nicht beurteilte Gesteinskörnungen. Gutachten durch besonders fachkundige Personen.
[2] (na)-Zement siehe Tabelle 1.3.1.a.
[3] Alternativ Festlegung von vorbeugenden Maßnahmen auf Grundlage eines Gutachtens.

2.6 Physikalisch-technische Eigenschaften von Gesteinskörnungen

Tabelle 2.6.a: Normale Gesteinskörnungen

Stoff	Rohdichte [kg/dm³]	Druckfestigkeit [N/mm²]
Quarzitisches Gestein	2,60 bis 2,70	70 bis 240
Kalkstein	2,65 bis 2,85	80 bis 180
Granit	2,60 bis 2,80	160 bis 240
Gabbro	2,80 bis 3,00	170 bis 300
Diabas	2,80 bis 2,90	180 bis 250
Basalt	2,90 bis 3,05	250 bis 400

Tabelle 2.6.b: Leichte Gesteinskörnungen

Stoffgruppe	Kornrohdichte [kg/dm³]	Schüttdichte (lose eingefüllt) [kg/dm³]	Dichte (Reindichte) [kg/dm³]	Kornfestigkeit
Leichte Gesteinskörnungen				
Naturbims	0,7 bis 1,6	0,4 bis 0,7	2,2 bis 2,4	niedrig
Schaumlava	1,7 bis 2,2	0,8 bis 1,0	2,8 bis 3,1	mittel bis hoch
Hüttenbims	1,0 bis 2,2	0,4 bis 1,1	2,9 bis 3,0	niedrig bis mittel
Sinterbims	0,9 bis 1,8	0,4 bis 1,0	2,6 bis 3,0	niedrig bis hoch
Ziegelsplitt	1,2 bis 1,8	1,0 bis 1,5	2,5 bis 2,8	mittel
Blähton, Blähschiefer	0,6 bis 1,4	0,3 bis 0,8	2,5 bis 2,7	niedrig bis hoch
Hochwärmedämmende leichte Gesteinskörnungen				
Blähglas	0,3 bis 0,9	0,2 bis 0,4	2,5 bis 2,7	niedrig bis mittel
Kieselgur	0,2 bis 0,4	0,2 bis 0,3	2,6 bis 2,7	sehr niedrig
Blähperlit	0,1 bis 0,3	0,05 bis 0,15	2,1 bis 2,4	sehr niedrig
Blähglimmer	0,1 bis 0,35	0,06 bis 0,17	2,5 bis 2,7	sehr niedrig
Schaumsand, Schaumkies	0,1 bis 0,3	0,1 bis 0,3	2,5 bis 2,7	sehr niedrig

Tabelle 2.6.c: Schwere Gesteinskörnungen und Gesteinskörnungen für den Strahlenschutz

Stoff	Rohdichte [kg/dm³]	Strahlenschutzrelevante Bestandteile [M.-%]
natürliche schwere Gesteinskörnungen		
Baryt ($BaSO_4$)	4,0 bis 4,3	$BaSO_4$-Gehalt ≥ 85
Magnetit (Fe_3O_4)	4,65 bis 4,8	Fe-Gehalt: 60 bis 70
Hämatit (Fe_2O_3)	4,7 bis 4,9	Fe-Gehalt: 60 bis 70
Ilmenit ($FeTiO_3$)	4,55 bis 4,65	Fe-Gehalt: 35 bis 40
künstliche schwere Gesteinskörnungen		
Ferrophosphor (FeP)	6,0 bis 6,2	Fe-Gehalt: 65 bis 70
Ferrosilicium (FeSi)	5,8 bis 6,2	Fe-Gehalt: 80 bis 85
Eisengranalien (Fe)	6,8 bis 7,5	Fe-Gehalt: 90 bis 95
Stahlsand (Fe)	7,5	Fe-Gehalt: ~ 95
Zuschläge mit erhöhtem Kristallwassergehalt		
Limonit ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$)	3,5 bis 3,65	Kristallwassergehalt: 10 bis 12
Serpentin ($Mg_6[(OH)_6Si_4O_{11}] \cdot H_2O$)	ca. 2,6	Kristallwassergehalt: 11 bis 13
Borhaltige Zusatzstoffe		
Colemanit ($CaB_3O_4(OH)_3 \cdot H_2O$) Borocalcit ($CaB_4O_7 \cdot 4H_2O$)	2,3 bis 2,4	B-Gehalt: ~ 13
Borfritte ($B_2O_3 + SiO_2 + Na_2O$)	2,4 bis 2,5	B-Gehalt: ~ 15
Borkarbid (B_4C)	ca. 2,5	B-Gehalt: ~ 78

2.7 Betontechnologische Kennwerte von Gesteinskörnungen

2.7.1 Kornzusammensetzung – Sieblinien

Folgende Sieblinien gelten informativ nach DIN 1045-2 bzw. nach DAfStB Heft 400 (Sieblinie mit Größtkorn 22 mm). Es werden fünf Bereiche unterschieden:

① grobkörnig
② Ausfallkörnung
③ grob- bis mittelkörnig
④ mittel- bis feinkörnig
⑤ feinkörnig

Abbildung 2.7.1.a: Sieblinien [Vol.-%] mit einem Größtkorn von 8 mm

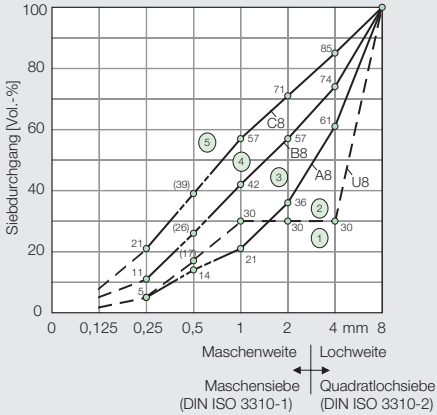


Abbildung 2.7.1.b: Sieblinien [Vol.-%] mit einem Größtkorn von 16 mm

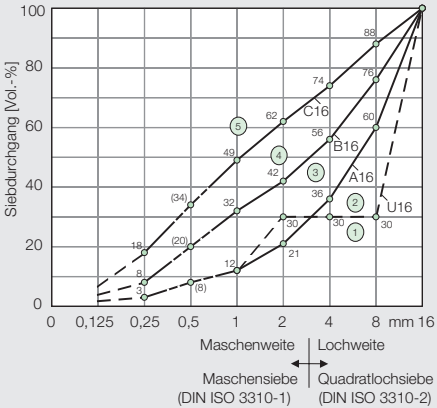


Abbildung 2.7.1.c: Sieblinien [Vol.-%] mit einem Größtkorn von 22 mm (gebrochene Gesteinskörnung)

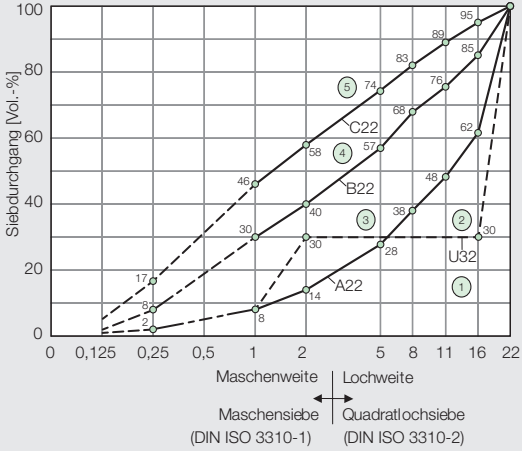


Abbildung 2.7.1.d: Sieblinien [Vol.-%] mit einem Größtkorn von 32 mm

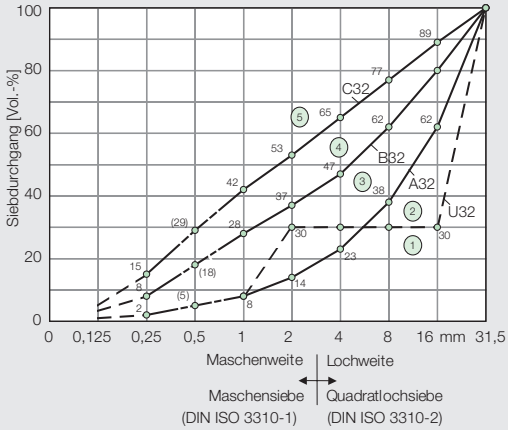
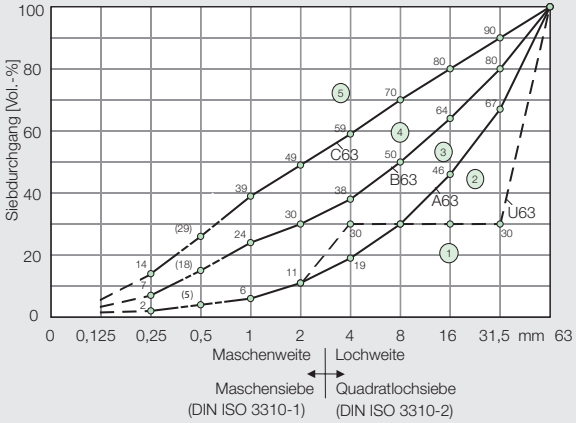


Abbildung 2.7.1.e: Sieblinien [Vol.-%] mit einem Größtkorn von 63 mm



2.7.2 Körnungsziffer (k-Wert) und Durchgangswert (D-Summe)

Die **Körnungsziffer k** ist die Summe der in Vol.-% angegebenen Rückstände auf einem Siebsatz mit den Sieben 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 31,5 – 63 mm geteilt durch 100.

$$k = \frac{\text{Summe aller Rückstände}}{100}$$

Die **D-Summe** ist die Summe der Durchgänge in Vol.-% durch die genannten 9 Siebe.

$$D = \text{Summe aller Durchgänge}$$

Zwischen der Körnungsziffer k und der D-Summe besteht folgende Beziehung:

$$100 \cdot k + D = 900 \text{ (9 Siebe)}$$

Tabelle 2.7.2.a: k-Wert und D-Summe

Sieblinie	k-Wert	D-Summe
A32	5,48	352
B32	4,20	480
C32	3,30	570
U32	5,65	335
A16	4,60	440
B16	3,66	534
C16	2,75	625
U16	4,87	413
A8	3,63	537
B8	2,90	610
C8	2,27	673
U8	3,88	512

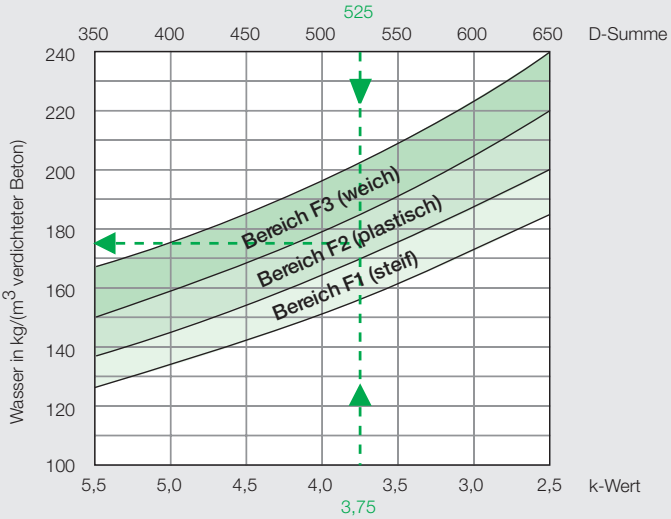
Tabelle 2.7.2.b: Berechnung von k-Wert und D-Summe für Sieblinie A/B16 (Beispiel)

Sieblochweite [mm]	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63	Summe
Siebrückstand [Vol.-%]	92	81	70	60	47	25	0	0	0	375
Siebdurchgang [Vol.-%]	8	19	30	40	53	75	100	100	100	525

$$k = \frac{375}{100} = 3{,}75 \quad \text{und} \quad D = 525$$

2.7.3 Wasseranspruch (bezogen auf oberflächentrockene Gesteinskörnung)

Abbildung 2.7.3.a: Wasseranspruch [1] in Abhängigkeit von k-Wert und Konsistenz (siehe Beispiel Tabelle 2.7.2.b)



[1] Anhaltswerte; tatsächlicher Wasseranspruch ergibt sich aus Erstprüfung.

Beispiel

Gegeben: Gesteinskörnung mit k-Wert 3,75, Ausbreitmaßklasse F2 (siehe Tabelle 6.2.2.d)

Gesucht: Wasseranspruch

Ergebnis: 175 kg/(m³ verdichteter Beton)

Tabelle 2.7.3.a: Beispiele für den mittleren Wasseranspruch des Frischbetons in Abhängigkeit von Kornzusammensetzung und Betonkonsistenz (ohne Betonzusatzmittel)

Gesteinskörnung		Beispiele für den Wassergehalt w [kg/m³] von Frischbeton der Konsistenzen F1, F2 und F3 bei Gesteinskörnungen mit ...					
Sieblinie	Körnungs-ziffer	... großem Wasseranspruch			... geringem Wasseranspruch		
		F1	F2	F3	F1	F2	F3
A63	6,15	120±15	145±10	160±10	95±15	125±10	140±10
A32	5,48	130±15	155±10	175±10	105±15	135±10	150±10
A16	4,60	140±20	170±15	190±10	120±20	155±15	175±10
A8	3,63	155±20	190±15	210±10	150±20	185±15	205±10
B63	4,92	135±15	160±10	180±10	115±15	145±10	165±10
B32	4,20	140±20	175±15	195±10	130±20	165±15	185±10
B16	3,66	150±20	185±15	205±10	140±20	180±15	200±10
B8	2,90	175±20	205±15	225±10	170±20	200±15	220±10
C63	3,73	145±20	180±15	200±10	135±20	175±15	190±10
C32	3,30	165±20	200±15	220±10	160±20	195±15	215±10
C16	2,75	185±20	215±15	235±10	175±20	205±15	225±10
C8	2,27	200±20	230±15	250±10	185±20	215±15	235±10

3 Betonzusatzmittel

Betonzusatzmittel sind flüssige, pulverförmige oder granulatartige Stoffe, die dem Beton während des Mischens in kleinen Mengen, bezogen auf den Zementgehalt, zugegeben werden. Sie beeinflussen durch chemische und/oder physikalische Wirkung die Eigenschaften des Frisch- oder Festbetons.

Es werden 19 Wirkungsgruppen/-arten unterschieden:

Tabelle 3.a: Wirkungsgruppen/-arten und Kennzeichnung der Betonzusatzmittel

Wirkungsgruppe / -Art	Kurzzeichen	Einsatz mit
Betonverflüssiger	BV	CE-Zeichen
Fließmittel	FM	CE-Zeichen
Fließmittel/Verzögerer	FM	CE-Zeichen
Luftporenbildner	LP	CE-Zeichen
Dichtungsmittel	DM	CE-Zeichen
Verzögerer	VZ	CE-Zeichen
Erhärtungsbeschleuniger	BE	CE-Zeichen/Zulassung
Erstarrungsbeschleuniger	BE	CE-Zeichen
Erstarrungsbeschleuniger für Spritzbeton	SBE	CE-Zeichen
Einpresshilfen	EH	CE-Zeichen
Stabilisierer	ST	CE-Zeichen
Viskositätsmodifizierer		CE-Zeichen
Sedimentationsreduzierer	SR	Zulassung
Chromatreduzierer	CR	Zulassung
Schaumbildner	SB	Zulassung
Elastische Hohlkugeln für Luftporenbeton		Zulassung
Abdichtungsmittel		Zulassung
Passivator		Zulassung
Recyclinghilfe	RH	Zulassung

In Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 dürfen nur Betonzusatzmittel nach DIN EN 934-2 oder Betonzusatzmittel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung verwendet werden. Betonzusatzmittel, die Stoffe

nach DIN EN 934-1, Anhang A.2, enthalten, dürfen nicht verwendet werden, mit Ausnahme von Sulfiden und Formiaten (Ausnahmeregel gilt nicht für vorgespannte Tragwerke).

Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder müssen DIN EN 934-4 entsprechen.

Mögliche Anwendungsbereiche von Betonzusatzmitteln der Firma Sika können dem BTD-Anhang 2, Seiten A2 und A3 entnommen werden.

3.1 Betonverflüssiger (BV)

Wirkung
Verminderung des Wasseranspruchs und/oder Verbesserung der Verarbeitbarkeit des Betons.

Anwendung
- Einhaltung eines vorgegebenen Wasserzementwertes (z. B. bei Beton mit hohem Wassereindringwiderstand oder Transportbeton in verarbeitungsgerechter Konsistenz F3)
- Verbesserung der Pumpbarkeit
- Erleichterung beim Rütteln
- Erzielung besserer Sichtflächen

Sika-Produkte: z. B. Betonverflüssiger BV 3M

3.2 Fließmittel (FM)

Wirkung
Verminderung des Wasseranspruchs und/oder Verbesserung der Verarbeitbarkeit zur Herstellung von Beton der Konsistenzklassen ≥ F4.

Anwendung
Die drei Anwendungsmöglichkeiten für Fließmittel zeigt Abbildung 3.2.a.

(1) Verflüssigung bis zum Fließbeton bei gleichem Wasserzementwert
- stark vereinfachter und wirtschaftlicher Betoneinbau
- filigrane Bauteile und Bauteile mit eng liegender Bewehrung

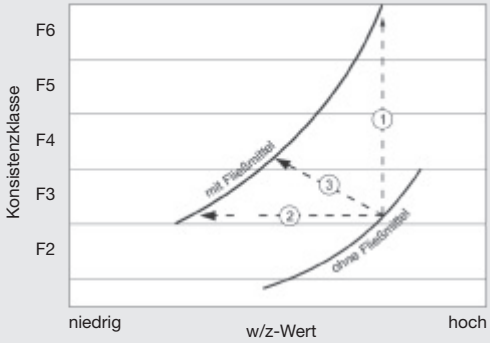
(2) Wassereinsparung (Wasserzementwertreduzierung) bei gleicher Konsistenz
- Verbesserung der Betonqualität (Dauerhaftigkeit, Festigkeit und Verformungseigenschaften)
- Erhöhung der Frühfestigkeit (in Betonfertigteilwerken, bei frühhochfestem Fließbeton für Straßenreparaturen)

- zielsichere Herstellung von Beton höchster Festigkeitsklassen (z. B. hochfeste Betone mit Silikastaub)

(3) Wassereinsparung und gleichzeitige Verflüssigung

- einfacher Betoneinbau und gleichzeitige Verbesserung der Betonqualität
- breites Anwendungsfeld im konstruktiven Ingenieurbau (Brücken-, Straßen- und Wasserbau)

Abbildung 3.2.a: Anwendungsmöglichkeiten von Fließmitteln



Verarbeitungsvorschriften

- Fließmittel dürfen bei Transportbeton nachträglich zugemischt werden. Damit ist eine den Baugegebenheiten angepasste Konsistenzeinstellung gegebenenfalls möglich.
- Wird dem Beton auch ein Luftporenbildner zur Erhöhung des Frost-Tausalz-Widerstandes zugegeben (z. B. Herstellung eines Betons mit Fließmittel für Verkehrsflächen), ist für die gewählte Kombination von Fließmittel und Luftporenbildner ein amtlicher Wirksamkeitsprüfnachweis erforderlich.

Sika-Produkte: z. B. Fließmittel FM 6, ViscoCrete-1020 X, ViscoCrete-1040, ViscoCrete-1063

3.3 Fließmittel/Verzögerer (FM)

Wirkung
Verbesserung der Verarbeitbarkeit zur Herstellung von Beton der Konsistenzklassen ≥ F4 bei gleichzeitiger Verzögerung des Erstarrens des Zementes.

Anwendung
- Transportbeton in fließfähiger Konsistenz bei warmer Witterung und bei der Herstellung größerer monolithischer Bauteile.

Sika-Produkte: z. B. ViscoCrete-1051

3.4 Luftporenbildner (LP)

Wirkung
Einführung gleichmäßig verteilter kleiner Luftporen, z. B. zur Erhöhung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton.

Anwendung
- Betone im Straßen-, Brücken- und Wasserbau, die Frost- und Tausalzeinwirkungen unterliegen.
- Luftporen ersetzen im Frischbeton fehlendes Mehlkorn, die Verarbeitbarkeit des Betons wird verbessert und die Neigung zum Bluten wird reduziert.

Sika-Produkte: z. B. Luftporenbildner LPS A-94, LPS V

3.5 Dichtungsmittel (DM)

Wirkung
Vermindern die kapillare Wasseraufnahme des Betons und können dem Beton wasserabweisende (hydrophobe) Eigenschaften geben.

Anwendung
- Betone, die am Bauwerk gegen aufsteigende Feuchtigkeit und herabfließendes Wasser zusätzlich geschützt werden sollen. Bei Beton mit hohem Wassereindringwiderstand sind trotzdem die betontechnologischen Anforderungen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 und ggf. DAfStb-Richtlinie (siehe BTD-Kapitel 12.4) einzuhalten.
- Verminderung von Ausblühungen bei farbigem Beton.

Sika-Produkte: z. B. Control AE-10

3.6 Verzögerer (VZ)

Wirkung
Verlangsamen die chemische Reaktion (Hydratation) des Zements und verzögern das Erstarren des Zements sowie die Wärmeentwicklung.

Anwendung
- Herstellung größerer monolithischer Bauteile (Massenbeton), z. B. im Brückenbau, Fundamente
- Transportbeton
- Betonieren bei hohen Außentemperaturen

Verarbeitungsvorschriften
Beton, der durch Zugabe verzögernder Betonzusatzmittel gegenüber dem zugehörigen Beton ohne Betonzusatzmittel eine um mindestens drei Stunden verlängerte Verarbeitbarkeitszeit aufweist (verzögerter Beton), ist entsprechend DAfStb „Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (verzögerter Beton)“ zusammenzusetzen, herzustellen und einzubauen (siehe BTD-Anhang 2, Seite A3).

Sika-Produkte: z. B. Verzögerer VZ 10, Verzögerer VZ 2

3.7 Erhärtungsbeschleuniger (BE)

Wirkung
Beschleunigen das Erhärten von Beton.

Anwendung
- Betonieren bei tiefen Außentemperaturen (Frosthilfe)
- Betonwaren (zur Frühfestigkeitssteigerung)

Sika-Produkte: z. B. SikaRapid C-100

3.8 Erstarrungsbeschleuniger (BE)

Wirkung
Beschleunigen das Erstarren (Erstarrungsanfang > 30 Minuten) und das Erhärten von Beton.

Anwendung
- Betonieren bei tiefen Außentemperaturen (Frosthilfe)
- Betonwaren (zur Frühfestigkeitssteigerung)

Sika-Produkte: z. B. Beschleuniger FS 1

3.9 Erstarrungsbeschleuniger für Spritzbeton (SBE)

Wirkung
Beschleunigen das Erstarren (Erstarrungsanfang < 10 Minuten) von Beton.

Anwendung
- Spritzbeton, z. B. im Tunnelbau (siehe auch BTD-Kapitel 12.8)
- Blitzmörtel zur Abdichtung von Wassereinbrüchen

Sika-Produkte: z. B. Beschleuniger Sigunit 49 AF, Sigunit-L93 AF

3.10 Einpresshilfen (EH)

Wirkung
Verbessern die Fließfähigkeit, vermindern den Wasseranspruch sowie das Absetzen und bewirken ein mäßiges Quellen von Einpressmörtel.

Anwendung
- Einpressmörtel für Spannbeton gemäß DIN EN 447

Sika-Produkte: z. B. Einpresshilfe EH 1

3.11 Stabilisierer (ST)

Wirkung
Verringern die Neigung des Betons zum Bluten und Entmischen.

Anwendung
- Leichtbeton in weicher Konsistenz (das Aufschwimmen der Leichtzuschläge wird verhindert, das Pumpen wird möglich)
- Sichtbeton und Estrich – Verbesserung der Gleichmäßigkeit (Homogenität)
- Unterwasserbeton (Herstellung von erosionsfesten Betonen mit speziellen Kombinationen von Stabilisierern und anderen Betonzusatzmitteln (Unterwasser-Compound))

Sika-Produkte: z. B. Stabilisierer ST 3, Unterwasser-Compound 100

3.12 Viskositätsmodifizierer

Wirkung
Begrenzung der Entmischung durch Verbesserung der Kohäsion

Anwendung
- Selbsverdichtender Beton

Sika-Produkte: z. B. Stabilizer-4R

3.13 Sedimentationsreduzierer (SR)

Wirkung
Verhindern das Sedimentieren von Betonbestandteilen im Frischbeton.

Anwendung
- Selbstverdichtender Beton (Verhinderung des Entmischens, Verringerung der Auswirkungen von Wasserschwankungen)

3.14 Chromatreduzierer (CR)

Wirkung
Reduzieren den wasserlöslichen Chromatanteil in zementhaltigen Produkten.

Anwendung
- Bei Verarbeitung von Beton und Mörtel mit direktem Hautkontakt.

3.15 Schaumbildner (SB)

Wirkung
Durch Schaumerzeugung mittels Schaumgerät werden gleichmäßig verteilte Luftporen eingeführt.

Anwendung
- Schaumbeton bzw. Beton mit porosiertem Zementstein
- Porenleichtbeton (siehe auch BTD-Kapitel 12.14)

Sika-Produkte: z. B. Lightcrete-400

3.16 Elastische Hohlkugeln für Luftporenbeton

Wirkung
Hohlkugeln (d < 0,08 mm) mit elastischer Kunststoffhülle zum einfachen und zielsicheren Erreichen des erforderlichen Luftporengehalts.

Anwendung
- Betone im Straßen-, Brücken- und Wasserbau, die Frost- und Tausalzeinwirkungen unterliegen

Sika-Produkt: SikaAer Solid

3.17 Abdichtungsmittel

Wirkung
Vermindern der Wasseraufnahme und des Eindringens von Wasser in Beton und Erhöhung der Wasserundurchlässigkeit durch gezielte Kristallbildung.

Anwendung
- Herstellung von wasserundurchlässigem Beton

3.18 Passivator

Wirkung
Verzögerung der chloridinduzierten Depassivierung der Stahlbewehrung in ungerissenem Beton.

Anwendung
- Stahlbeton unter Einwirkung von Chloriden z. B. Parkdecks und Meeresbauwerke

Sika-Produkt: SikaAer Solid

3.19 Recyclinghilfe (RH)

Wirkung
Herstellen einer groben Gesteinskörnung aus im Fahrmischer befindlichen Restbeton durch Granulierung.

Anwendung
- Recycling von Restbeton

3.20 Verwendung von Betonzusatzmitteln

Die Zugabemenge muss innerhalb der in folgender Tabelle angegebenen Grenzen liegen.

Tabelle 3.20.a: Grenzwerte für die Zugabemenge bei unbewehrtem Beton, Stahlbeton, Spannbeton, hochfestem Beton und Spritzbeton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Anwendungsbereich	Zugabemengen [g/kg Zement]	
	Mindestzugabe	Höchstzugabe [2]
Beton, Stahlbeton, Spannbeton	2 [1]	50 [3]
Beton mit alkaliempfindlichem Zuschlag		20 [4] oder 50 [4]
Hochfester Beton		70 [5]
Spritzbeton		70 [6]

[1] Kleinere Mengen nur erlaubt, wenn in einem Teil des Anmachwassers aufgelöst.
[2] Maßgebend sind die Angaben des Herstellers (empfohlener Dosierbereich) bzw. des Zulassungsbescheids.
[3] Bei Verwendung mehrerer Betonzusatzmittel unterschiedlicher Wirkungsgruppen ist eine Gesamtmenge von maximal 60 g/kg Zement ohne besonderen Nachweis erlaubt; bei Verwendung von Zementen nach DIN 1164-11 oder DIN 1164-12 ist die Zugabemenge auf 50 g/kg begrenzt.
[4] Abhängig vom Alkaligehalt des Zusatzmittels; siehe Alkali-Richtlinie.
[5] Gilt für verflüssigende Betonzusatzmittel. Bei gleichzeitiger Verwendung mehrerer Zusatzmittel höchstens 80 g/kg Zement; bei Verwendung von Zementen nach DIN 1164-11 oder DIN 1164-12 ist die Zugabemenge auf 70 g/kg begrenzt. Eine bauaufsichtliche Zulassung ist erforderlich, wenn ein verflüssigendes Zusatzmittel mit einer Dosiermenge > 50 g/kg Zement eingesetzt werden soll.
[6] Nur für Erstarrungsbeschleuniger mit einem Na_2O-Äquivalent von ≤ 1,0 M.-%.

- Betonzusatzmittel können bei der Stoffraumrechnung vernachlässigt werden. Falls die Gesamtmenge flüssiger Zusatzmittel größer als 3 l/m³ Beton ist, muss die darin enthaltene Wassermenge bei der Berechnung des Wasserzementwertes berücksichtigt werden.
- Vor der Verwendung ist eine Erstprüfung durchzuführen.
- Bei gleichzeitiger Verwendung verschiedener Betonzusatzmittel im Beton müssen diese miteinander verträglich und wirksam sein. Die Verträglichkeit der Zusatzmittel muss in der Erstprüfung untersucht werden.
- Alle Zusatzmittel außer Fließmittel müssen während des Hauptmischganges zugegeben werden. Auch Verzögerer können bei Verarbeitbarkeitszeiten > 12 Stunden in den Fahrmischer auf der Baustelle unter definierten Bedingungen zugegeben werden (siehe BTD-Anhang 2, Seite A4).

- Wenn Fließmittel im Fahrmischer zugegeben werden, muss mindestens 1 Minute/m^3, aber nicht kürzer als 5 Minuten gemischt werden.
- Betonzusatzmittel sollten möglichst spät (nach Wasserzugabe) dem Beton zugegeben werden. Die Mischzeiten sind unter Umständen, je nach Zusatzmittelgruppe, zu verlängern, damit eine einwandfreie Verteilung im Beton gewährleistet ist (besonders bei FM, LP und ST). Eine zu frühe Zugabe kann zu einer geringeren Wirkung oder unter Umständen zu einem Umschlagen (bei VZ) führen.

3.21 Umgang mit Betonzusatzmitteln

- Die neuesten technischen Merkblätter bzw. Sicherheitsdatenblätter des Herstellers sowie die Hinweise auf den Gebinden sind zu beachten.
- Lagerung:
  - Betonzusatzmittel sind vor Frost, starker Sonneneinstrahlung sowie vor Verunreinigungen zu schützen.
  - Bei loser Anlieferung sind saubere Tanks und Behälter zu verwenden.
  - Pulverförmige Zusatzmittel sind wie Zement zu lagern.
  - Bei der Lagerung vor Ort sind die Maßgaben der Richtlinie für das Lagern von wassergefährdenden Stoffen zu beachten. In Einzelfällen kann es erforderlich sein, die Lagerbehälter mit Auffangwannen zu versehen (besonders in Wasserschutzgebieten).
  - Betonzusatzmittel können bei längerer Lagerzeit zum Absetzen neigen. Sie sind in diesem Fall vor Gebrauch durchzurühren oder aufzuschütteln.
- Bestimmte Betonzusatzmittel dürfen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung beim Lagern, Fördern und Dosieren nicht miteinander in Kontakt kommen (siehe Sika-Merktafel, BTD-Anhang 2, Seite A5.

4 Betonzusatzstoffe und Fasern

Betonzusatzstoffe sind feine anorganische oder organische Stoffe, die im Beton verwendet werden, um Eigenschaften gezielt zu verbessern oder zu erreichen. Sie sind als Volumenbestandteile in der Stoffraumrechnung zu berücksichtigen.

DIN EN 206-1/DIN 1045-2 unterscheidet zwei Arten von anorganischen Zusatzstoffen:

Typ I: nahezu inaktive Zusatzstoffe wie Füller (Gesteinsmehle) nach DIN EN 12620 oder Pigmente nach DIN EN 12878,

Typ II: puzzolanische oder latenthydraulische Zusatzstoffe wie Trass nach DIN 51043, Flugasche nach DIN EN 450-1 oder Silikastaub nach DIN EN 13263-1. Hüttensandmehl nach DIN EN 15167-1 ist ein latenthydraulischer Zusatzstoff, für den die Eignung als Betonzusatzstoff Typ II als nachgewiesen gilt und der über die Bauregelliste A, Teil 1, Anlage 1.51, für die Anwendung im Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 zugelassen ist.

Für andere Zusatzstoffe kann der Eignungsnachweis für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 z. B. mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erfolgen.

4.1 Steinkohlenflugasche (SFA) nach DIN EN 450-1 und Silikastaub (SF) nach DIN EN 13263-1

Flugasche ist ein in Kraftwerken anfallender feinkörniger Verbrennungsrückstand von Kohlenstaub und von eventuell eingesetzten Mitverbrennungsstoffen. Sie besteht im Wesentlichen aus Siliciumdioxid (reaktionsfähiges Siliciumdioxid ≥ 25 M.-%) und Aluminiumoxid. Ihre Zusammensetzung hängt von Art und Herkunft der Kohle, Art und Menge der Mitverbrennungsstoffe und den Verbrennungsbedingungen ab. Der Gehalt an reaktionsfähigem Calciumoxid (CaO) darf 10 M.-% nicht überschreiten. Der Aschenanteil aus Mitverbrennungsstoffen darf nicht mehr als 30 M.-% betragen.

Für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 muss durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung die Unbedenklichkeit hinsichtlich umweltschädlicher Auswirkungen, insbesondere auf Boden und Grundwasser, nachgewiesen werden.

Silikastaub (silica fume), der bei der Herstellung von Siliciummetall oder Ferrosiliciumlegierungen durch Kondensation von gasförmigem Silici-

umoxid entsteht, darf für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 verwendet werden. Silikastaub besteht aus hauptsächlich kugeligen Teilchen von amorphem Siliciumdioxid mit einem Durchmesser kleiner als 10^{-6} m und einer spezifischen Oberfläche von 15 bis 35 m^2/g. Silikastaub wird nach DIN EN 13263-1 entsprechend seinem SiO_2-Gehalt in zwei Klassen eingeteilt:

- Klasse 1: SiO_2-Gehalt ≥ 85 M.-%
- Klasse 2: SiO_2-Gehalt ≥ 80 M.-%

Silikastaub wird als Pulver, kompaktierter Silikastaub oder Suspension verwendet. Die übliche Dosierung für Beton liegt bei 3 bis 7 M.-% vom Zement, für Spritzbeton zur Vermeidung von Rückprall auch bis ca. 10 M.-%.

Flugasche und Silikastaub haben puzzolanische Eigenschaften.

Tabelle 4.1.a: Technische Daten von Flugasche nach DIN EN 450-1 und Silikastaub nach DIN EN 13263-1

Technische Daten	Einheit	Flugasche	Silikastaub	
			Pulver	Suspension
Feinheit (> 0,045 mm) Kategorie N: Kategorie S:	M.-%	 ≤ 40 ≤ 12	–	–
Spezifische Oberfläche	cm^2/g	–	≥ 150.000 ≤ 350.000	–
Glühverlust	M.-%	≤ 5,0 [1]	≤ 4,0	≤ 4,0
Siliciumdioxid (SiO_2) Klasse 1 Klasse 2	M.-%	-	≥ 85 ≥ 80	–
Sulfat (SO_3)	M.-%	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Chlorid (Cl^-)	M.-%	≤ 0,10	≤ 0,30 [2]	≤ 0,30 [2]
Alkalien (Na_2O-Äquivalent)	M.-%	≤ 5,0	Hersteller-angabe	Hersteller-angabe
Dichte [3]	kg/dm^3	2,2 – 2,6	ca. 2,2	ca. 1,4
Schüttdichte [3]	kg/dm^3	1,0 – 1,1	0,3 – 0,6	–

[1] Nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 nur Glühverlustkategorie A (≤ 5,0 M.-%) zulässig.
[2] Cl^--Anteile über 0,10 M.-% sind zu deklarieren; bei Cl^--Anteile über 0,20 M.-% ist bei Beton mit Spannstahl DIN EN 206-1/ DIN 1045-2, Tabelle 10 einzuhalten.
[3] Richtwerte für bisherigen Erfahrungsbereich.

4.1.1 Anrechenbarkeit von Flugasche und Silikastaub nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Flugasche und Silikastaub dürfen gemäß Tabelle 4.1.1.a auf den Wasserzementwert und den Mindestzementgehalt angerechnet werden.

Tabelle 4.1.1.a: k-Wert-Ansatz für Flugasche und Silikastaub

Flugasche	Silikastaub	Flugasche und Silikastaub
Maximaler Zusatzstoffgehalt		
Zemente mit D: max f = 0,15·z	max s = 0,11·z	max s = 0,11·z max f = 0,66·z - 3,0·s [1] bzw. max f = 0,45·z - 3,0·s [2]
Äquivalenter Wasserzementwert $(w/z)_{eq}$		
w/(z + 0,4·f)	w/(z + 1,0·s) [3]	w/(z + 0,4·f + 1,0·s) [3]
Maximal anrechenbare Zusatzstoffmenge		
▪ Zemente ohne P, V, D: max f = 0,33·z ▪ Zemente mit P oder V ohne D: max f = 0,25·z ▪ Zemente mit D: max f = 0,15·z	max s = 0,11·z	max f = 0,33·z und max s = 0,11·z
Mindestzementgehalt [4] bei Anrechnung von Zusatzstoffen nach Tabellen 6.3.2.a bis f		
z+f ≥ min z z ≥ min $z_{bei\ Anrechnung}$	z+s ≥ min z z ≥ min $z_{bei\ Anrechnung}$	z+f+s ≥ min z z ≥ min $z_{bei\ Anrechnung}$
Zulässige Zementarten [5]		
▪ CEM I ▪ CEM II/A-D ▪ CEM II/A-S, CEM II/B-S ▪ CEM II/A-T, CEM II/B-T ▪ CEM II/A-LL ▪ CEM II/A-P, CEM II/A-V [6] ▪ CEM II/A-M (S,D,P,V,T,LL) ▪ CEM II/B-M (S-D, S-T, D-T) ▪ CEM III/A [6] ▪ CEM III/B mit max. 70 M.-% Hüttensand [6]	▪ CEM I ▪ CEM II/A-S, CEM II/B-S ▪ CEM II/A-P, CEM II/B-P ▪ CEM II/A-V ▪ CEM II/A-T, CEM II/B-T ▪ CEM II/A-LL ▪ CEM II/A-M (S,P,V,T,LL) ▪ CEM II/B-M (S-T, S-V) ▪ CEM III/A, CEM III/B	▪ CEM I ▪ CEM II/A-S, CEM II/B-S ▪ CEM II/A-T, CEM II/B-T ▪ CEM II/A-LL ▪ CEM II/A-M (S-T, S-LL, T-LL) ▪ CEM II/B-M (S-T) ▪ CEM III/A

1) Gilt für CEM I.
2) Gilt für CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL, CEM II/A-M (S-T, S-LL, T-LL), CEM II/B-M (S-T), CEM III/A.
3) Für alle Expositionsklassen außer XF2 und XF4 darf anstelle des w/z nach den Tabellen 6.3.2.a bis f $(w/z)_{eq}$ verwendet werden.
4) Gilt bei Silikastaub sowie Flugasche und Silikastaub für alle Expositionsklassen außer XF2 und XF4.
5) Für andere Zemente kann die Anwendung von Flugasche im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung geregelt werden.
6) Bezüglich Expositionsklasse XF4 siehe Tabelle 6.3.3.a.

4.1.2 Verwendung von Flugasche in Unterwasserbeton

Der Gehalt an Zement und Flugasche darf 350 kg/m³ nicht unterschreiten. Der äquivalente Wasserzementwert $(w/z)_{eq}$ wird als $w/(z + 0{,}7 \cdot f)$ berechnet.

4.1.3 Verwendung von Flugasche in Bohrpfählen

Bei Anrechnung von Flugasche sind die Grenzwerte nach Tabelle 4.1.3.a einzuhalten (siehe BTD-Kapitel 12.5).

Tabelle 4.1.3.a: Mindestgehalte bei Anrechnung von Flugasche

Mindestgehalt [kg/m³]	Größtkorn	
	32 mm	16 mm
Zement z	270	300
Zement + Flugasche (z + f)	350	400

4.1.4 Verwendung von Flugasche in Beton mit hohem Sulfatwiderstand nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Zur Herstellung von Beton mit hohem Sulfatwiderstand darf anstelle von SR-Zement nach DIN EN 197-1 eine Mischung aus Zement und Flugasche verwendet werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Sulfatgehalt des angreifenden Wassers: $SO_4^{2-} \leq 1500$ mg/l
- Zementart und Flugascheanteil:
  - $f \geq 0{,}3 \cdot (z + f)$ [1] bei CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-V, CEM II/A-LL, CEM II/A-M mit den Hauptbestandteilen S, V, T, LL und CEM II/B-M (S-T)
  - $f \geq 0{,}1 \cdot (z + f)$ bei CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/A

4.1.5 Verwendung von Flugasche in Beton mit alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Bei Verwendung von Flugasche für Betonbauteile mit Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklassen E II-O, E II-OF, E III-O, E III-OF oder E III-S und mit den Feuchtigkeitsklassen WF, WA oder WS nach der Alkali-Richtlinie des DAfStb ist der Gesamtgehalt an Alkalien (Na_2O-Äquivalent) auf Anfrage des Verwenders anzugeben. Laut Alkali-Richtlinie darf der Beitrag von Flugasche nach DIN EN 450-1 zum wirksamen Alkaligehalt vernachlässigt werden.

[1] Siehe 2. Stellungnahme des DAfStB zum „Sulfatangriff auf Beton“ vom Februar 2012.

4.2 Hüttensandmehl (HSM) nach DIN EN 15167-1

Hüttensandmehl wird durch Mahlen von Hüttensand hergestellt und hat latenthydraulische Eigenschaften. Die Anforderungen an Hüttensandmehl für die Verwendung in Beton und Mörtel sind in DIN EN 15167-1 festgelegt (siehe Tabelle 4.2.a). Die Verwendung von Hüttensandmehl als Betonzusatzstoff Typ II in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ist in Deutschland derzeit über die Bauregelliste A, Teil 1, Anlage 1.51, zugelassen.

Tabelle 4.2.a: Anforderungen an Hüttensandmehl nach DIN EN 15167-1.

Technische Daten	Einheit	Hüttensandmehl
Spezifische Oberfläche	cm^2/g	≥ 2750
Glasgehalt	M.-%	≥ 66,6
Glühverlust	M.-%	≤ 3,0
Gehalt ($MgO+CaO+SiO_2$)	M.-%	≥ 66,6
MgO	M.-%	≤ 18,0
Sulfat (SO_3)	M.-%	≤ 2,5
Chlorid (Cl^-)	M.-%	≤ 0,10 [1]
Aktivitätsindex [2] 7 Tage 28 Tage	%	 45 70
Erstarrungszeit [3]	%	<100

[1] Chloridwerte über 1,0 M.-% sind möglich. In diesem Fall müssen die Höchstwerte deklariert werden.

[2] Der Aktivitätsindex gibt das prozentuale Verhältnis der Druckfestigkeit an, die ein Gemisch aus 50 M.-% des Hüttensandmehls mit 50 M.-% eines Prüfzements im Vergleich zu dem reinen Prüfzement erzielt. Die Anforderungen an den Prüfzement CEM I mindestens der Festigkeitsklasse 42,5 sind in DIN EN 15167-1 festgelegt.

[3] Die Zeit bis zum Beginn der Erstarrung des hälftigen Gemisches darf sich gegenüber dem Erstarrungsbeginn des reinen Prüfzements höchstens verdoppeln.

4.2.1 Anrechenbarkeit von Hüttensandmehl gemäß den Festlegungen in der Bauregelliste A

Hüttensandmehl nach DIN EN 15167-1 darf auf den Wasserzementwert und den Mindestzementgehalt angerechnet werden (siehe Tabelle 4.2.1.a).

Die gleichzeitige Verwendung von Hüttensandmehl und Flugasche und/oder Silikastaub als Zusatzstoff ist nicht zulässig.

Tabelle 4.2.1.a: k-Wert-Ansatz für Hüttensandmehl

Maximaler Hüttensandmehlgehalt	Zemente mit D: max h = 0,15·z
Äquivalenter Wasserzementwert [1]	$(w/z)_{eq} = w/(z + 0{,}4{\cdot}h)$
Maximal anrechenbare Hüttensandmehlmenge	▪ Zemente ohne P, V, D: max h = 0,33·z ▪ Zemente mit P oder V ohne D: max h = 0,25·z ▪ Zemente nur mit D: max h = 0,15·z
Mindestzementgehalt [1] bei Anrechnung von Zusatzstoffen nach Tabellen 6.3.2.a bis f	$z + h \geq \min z$ $z \geq \min z_{\text{bei Anrechnung}}$
Zulässige Zementarten [2]	CEM I CEM II/A-D CEM II/A-S, CEM II/B-S CEM II/A-T, CEM II/B-T CEM II/A-LL CEM II/A-P, CEM II/A-V CEM II/A-M (S,D,P,V,T,LL) CEM II/B-M (S-D,S-T,D-T) CEM III/A [3] CEM III/B mit maximal 70 M.-% Hüttensand [3]

[1] Gilt nicht für die Expositionsklassen XF2 und XF4.
[2] Für andere Zemente kann die Anwendung von Hüttensandmehl im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung geregelt werden.
[3] Bezüglich Expositionsklasse XF4 siehe Tabelle 6.3.3.a.

4.2.2 Verwendung von Hüttensandmehl in Unterwasserbeton

Die Regelungen zur Verwendung von Flugasche in Unterwasserbeton gelten nicht für Hüttensandmehl.

4.2.3 Verwendung von Hüttensandmehl in Beton mit hohem Sulfatwiderstand nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Die Regelungen für Flugasche zur Herstellung von Beton mit hohem Sulfatwiderstand dürfen nicht für Hüttensandmehl angewendet werden.

4.2.4 Verwendung von Hüttensandmehl in Beton mit alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Entsprechend Alkali-Richtlinie, Abschnitt 7.1.2, darf der Beitrag von Hüttensandmehl nach DIN EN 15167-1 zum wirksamen Alkaligehalt vernachlässigt werden.

4.3 Trass und Füller (Gesteinsmehle)

Der Baustoff Trass ist genormt nach DIN 51043. Trass gehört zu den Gesteinen und besteht überwiegend aus Kieselsäure, Tonerde sowie chemisch und physikalisch gebundenem Wasser. Trass hat puzzolanische Eigenschaften.

Füller (Gesteinsmehle) nach DIN EN 12620, wie z. B. Kalksteinmehl, sind dagegen inerte Materialien, die nur der Verbesserung der Sieblinie und damit der Verarbeitbarkeit des Betons dienen.

Tabelle 4.3.a: Technische Daten von Trass und Kalksteinmehl

Technische Daten	Einheit	Trass DIN 51043	Kalksteinmehl
Spez. Oberfläche	cm^2/g	≥ 5000	≥ 3500
Kornanteil < 0,063 mm	M.-%	–	≥ 70
Glühverlust	M.-%	≤ 12	~ 40
Sulfat (SO_3)	M.-%	≤ 1,0	≤ 0,8
Chlorid (Cl^-)	M.-%	≤ 0,10	≤ 0,04
Dichte [1)]	kg/dm^3	2,4 – 2,6	2,6 – 2,7
Schüttdichte [1)]	kg/dm^3	0,7 – 1,0	1,0 – 1,3

[1)] Richtwert für bisherigen Erfahrungsbereich.

4.4 Farbpigmente

Farbpigmente nach DIN EN 12878 dürfen als Zusatzstoffe verwendet werden, wenn der Nachweis der ordnungsgemäßen Herstellung und Verarbeitung des Betons erbracht ist.

Für Stahlbeton dürfen nur anorganische Pigmente der Kategorie B nach DIN EN 12878 eingesetzt werden. Die Zugabemenge muss vom Hersteller angegeben werden. Eine Zugabemenge von 2 bis 8 M.-% v. Z. ist üblich.

Tabelle 4.4.1 Anforderungen an Pigmente für Stahlbeton (Kategorie B)

Verringerung der Druckfestigkeit	≤ 8 %
Gehalt an wasserlöslichen Substanzen	≤ 0,5 M.-% für Einzelpigmente und Pigmentmischungen
	≤ 5,0 M.-% bezogen auf den Feststoff bei mit Dispergiermittel, Bindemittel und/oder Mahlhilfen präparierten Pigmenten. Bei Pigmentruß ≤ 8,0 M.-%
Lösliches Chlorid	≤ 0,10 M.-%
Gesamtchloridgehalt	≤ 0,10 M.-%

Farbpigmente sind i.d.R. mineralisch. Zur dauerhaften Farbwirk- samkeit müssen sie lichtecht und stabil im Zementstein sein. Pigmente werden als Pulver oder zur besseren Handhabung als Granulate oder in wässrigen Lösungen angeboten.

4.5 Kunststoffdispersionen

Kunststoffdispersionen sind Systeme von fein verteilten Kunststoffpartikeln in Wasser. Die Kunststoffpartikel vernetzen bei Wasserentzug durch die Hydratation des Zementes zu einem dreidimensionalen Film im Zementstein. Außerdem quellen die Partikel bei Einwirkung von Flüssigkeiten. Kunststoffdispersionen müssen verseifungsbeständig sein. Sie verbessern die Frisch- und Festbetoneigenschaften.

Kunststoffdispersionen benötigen für die Verwendung in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung als organischer Betonzusatzstoff. Bei der Berechnung des w/z-Wertes sind Kunststoffdispersionen insgesamt dem Wassergehalt zuzurechnen. Die zulässigen Zusatzmengen betragen ca. 15 bis 20 M.-%.

Anwendung

- Betonbauwerke zum Schutz der Umwelt vor wassergefährdenden Flüssigkeiten, z. B. Auffangwannen, Tanktassen, Tankstellen
- Betone mit hohem Korrosionswiderstand, z. B. Abwasserrohre, Kläranlagen
- Haufwerksporige Betone mit hoher Dauerhaftigkeit, z. B. Dränbeton, Filterbeton, Lärmschutzwände

4.6 Fasern

DIN EN 14889 legt die Anforderungen an Stahlfasern (Teil 1) und Polymerfasern (Teil 2) für die Verwendung in Beton, Mörtel und Einpressmörtel, sowohl für tragende als auch nicht tragende Zwecke, fest.

In DIN EN 206-1/DIN 1045-2 sind die Verwendungsbedingungen geregelt:

- Stahlfasern nach DIN EN 14889-1:
  - Zulässig sind lose Fasern; zu Bündeln geklebte Fasern und Fasern in einer Dosierverpackung nur mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.
  - Unzulässig in Spannbeton sind Fasern mit Zinküberzug.
  - Bei Ausnutzung der Tragwirkung der Fasern für tragende und aussteifende Bauteile sind über DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 hinausgehende Regelungen zu beachten.
- Polymerfasern nach DIN EN 14889-2:
  - Zulässig nur mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.

Tabelle 4.6.a: Einteilung und Eigenschaften von Stahlfasern

Stahlfasern nach DIN EN 14889-1		
Einteilung nach Herstellungsart	Gruppe I	kalt gezogener Stahldraht
	Gruppe II	aus Blech geschnittene Fasern
	Gruppe III	aus Schmelzgut extrahierte Fasern
	Gruppe IV	von kaltgezogenem Draht gespante Fasern
	Gruppe V	von Stahlblöcken gehobelte Fasern
Beschreibung durch folgende Eigenschaften	Gruppe und Form	
	Geometrie: Länge und äquivalenter Durchmesser	
	Zugfestigkeit und Elastizitätsmodul	
	Verformbarkeit (falls erforderlich)	
	Einfluss auf die Betonkonsistenz (Referenzbeton)	
	Einfluss auf die Biegezugfestigkeit (Referenzbeton)	

Tabelle 4.6.b: Einteilung und Eigenschaften von Polymerfasern

Polymerfasern nach DIN EN 14889-2		
Einteilung nach physikalischer Form	Klasse Ia	Mikrofasern mit d < 0,30 mm (Monofilamente)
	Klasse Ib	Mikrofasern mit d < 0,30 mm (fibrilliert)
	Klasse II	Makrofasern mit d > 0,30 mm
Beschreibung durch folgende Eigenschaften	Klasse, Polymerart, Form, Bündelung und Oberflächenbehandlung	
	Geometrie: Länge, äquivalenter Durchmesser und Feinheit (Kl. I)	
	Feinheitsbezogene Kraft (Kl. I)/Zugfestigkeit (Kl. II), Elastizitätsmodul	
	Schmelzpunkt und Entzündungstemperatur	
	Einfluss auf die Betonkonsistenz (Referenzbeton)	
	Einfluss auf die Biegezugfestigkeit (Referenzbeton)	

Anwendung

Stahlfasern: siehe BTD-Kapitel 12.6

Polymerfasern:

- Reduzierung der Schwindrissbildung
- Verbesserung des Brandverhaltens
- Erhöhung der Stoß- und Schlagzähigkeit
- Verbesserung der Grünstandfestigkeit bei Betonwaren

5 Zugabewasser für Beton

Nach DIN EN 1008 ist als Zugabewasser für Beton nach DIN EN 206-1/ DIN1045-2 geeignet:

- Trinkwasser (Prüfung nicht erforderlich)
- Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung (Prüfung erforderlich)
- Grundwasser (Prüfung erforderlich)
- Natürliches Oberflächenwasser (z. B. Fluss-, See-, Quellwasser) und industrielles Brauchwasser (Prüfung erforderlich)
- Meerwasser oder Brackwasser im Allgemeinen nur für unbewehrten Beton.

5.1 Anforderungen bei Prüfung von Zugabewasser

Für die Prüfung ist eine Probe von ≥ 5 l zu entnehmen und innerhalb von 2 Wochen zu prüfen.

Tabelle 5.1.a: Anforderungen für die Vorprüfung von Zugabewasser [1)]

Kriterium	Anforderungen
Öle und Fette	höchstens Spuren
Reinigungsmittel	Schaum muss innerhalb von 2 Minuten zusammenfallen
Farbe	farblos bis schwach gelblich (Ausnahme: Restwasser)
Schwebstoffe	▪ Restwasser nach Tabelle 5.2.a ▪ anderes Wasser ≤ 4 ml Absetzvolumen nach 30 Minuten
Geruch	▪ Restwasser: nur Geruch von Trinkwasser und leichter Geruch von Zement bzw. Schwefelwasserstoff bei Flugasche im Wasser ▪ anderes Wasser: nur Geruch von Trinkwasser; kein Geruch von Schwefelwasserstoff nach dem Hinzufügen von Salzsäure
Säuren	pH ≥ 4
Huminstoffe	Farbe: 60 Minuten nach Zugabe von NaOH höchstens schwach gelblich-braun

1) Werden die Anforderungen nicht erfüllt, darf das Wasser trotzdem verwendet werden, wenn die Anforderungen nach Tabelle 5.1.b und 5.1.c erfüllt werden.

Tabelle 5.1.b: Chemische Anforderungen für Zugabewasser

Chemisches Merkmal	Höchstgehalt [mg/l]
Chlorid (Cl^-):	
■ Spannbeton / Einpressmörtel	≤ 500
■ Stahlbeton	≤ 1000
■ unbewehrter Beton	≤ 4500
Sulfate (SO_4^{2-})	≤ 2000
Na_2O-Äquivalent	≤ 1500
Betonschädliche Verunreinigungen: [1]	
■ Zucker	≤ 100
■ Phosphate (P_2O_5)	≤ 100
■ Nitrate (NO_3^-)	≤ 500
■ Blei (Pb^{2+})	≤ 100
■ Zink (Zn^{2+})	≤ 100

[1] Nach qualitativem Nachweis betonschädlicher Verunreinigungen müssen die Anforderungen an die Erstarrungs- und Druckfestigkeiten nach Tabelle 5.1.c erfüllt werden. Alternativ kann eine chem. Analyse zur Einhaltung der Höchstgehalte durchgeführt werden.

Tabelle 5.1.c: Anforderungen an Erstarrungszeiten und Druckfestigkeit bei Prüfung von Zugabewasser

Kriterium	Anforderung
Erstarrungszeiten (Zementleim)	■ Erstarrungsbeginn ≥1 Stunde ■ Erstarrungsende ≤ 12 Stunden ■ Abweichung ≤ 25 % vom Prüfwert mit destilliertem oder deionisiertem Wasser
mittlere Druckfestigkeit nach 7 Tagen (Mörtel oder Beton)	■ ≥ 90 % der mittleren Druckfestigkeit von Probekörpern mit destilliertem oder deionisiertem Wasser

5.2 Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung

Restwasser fällt bei der Aufbereitung von Restbeton oder -mörtel, der Reinigung des Mischers bzw. der Fahrmischertrommel und der Betonpumpen sowie beim Sägen, Schleifen und Wasserstrahlen von Beton, Waschen der Gesteinskörnung und während der Herstellung des Frischbetons an.

Es enthält in schwankenden Konzentrationen Feinstteile des ausgewaschenen Restbetons oder -mörtels, deren Korngröße i.d.R. unter 0,25 mm liegt.

Anforderungen

- Feststoffe im Restwasser müssen homogen verteilt sein oder in einem Absetzbecken abgeschieden werden.
- Die Dichte des Restwassers ist mindestens einmal täglich zum Zeitpunkt der zu erwartenden höchsten Dichte zu ermitteln. Günstiger ist eine kontinuierliche Dichtebestimmung über den Tag.
- Der Feststoffgehalt ist aus der Dichtebestimmung und der zugegebenen Restwassermenge nach Tabelle 5.2.a zu ermitteln und bei der Betonzusammensetzung zu berücksichtigen.
- Erfüllt das Restwasser die Anforderungen von DIN EN 1008 nicht, darf so viel davon zugegeben werden, dass die Grenzwerte der Anforderungen bezogen auf das gesamte Zugabewasser eingehalten werden.

Tabelle 5.2.a: Feststoffgehalt (trocken) [kg/l] und Volumen des Restwassers [l/l] in Abhängigkeit von der Dichte des zugegebenen Restwassers bei einer mittleren Dichte des Feststoffs von 2,1 kg/l

Dichte des Restwassers [kg/l]	Masse der Feststoffe [kg/l]	Volumen des Restwassers [l/l]
1,02	0,038	0,982
1,03	0,057	0,973
1,04	0,076	0,964
1,05	0,095	0,955
1,06	0,115	0,945
1,07	0,134	0,936
1,08	0,153	0,927
1,09	0,172	0,918
1,10	0,191	0,909
1,11	0,210	0,900
1,12	0,229	0,891
1,13	0,248	0,882
1,14	0,267	0,873
1,15	0,286	0,864

Verwendung von Restwasser im Beton

- Bis einschließlich C50/60 oder LC50/55.
- Darf nicht für hochfesten Beton und Beton mit Luftporenbildnern verwendet werden. Für die Herstellung von Sichtbeton nicht empfohlen.
- Restwasser oder eine Mischung aus Restwasser und Wasser aus einer anderen Quelle (kombiniertes Wasser) darf unter folgenden Bedingungen verwendet werden:
  - zusätzlicher Eintrag von Feststoffen < 1 M.-% der Gesteinskörnung,
  - gleichmäßige Verteilung des Restwassers über die Tagesproduktion.
- Bei Verwendung in der Erstprüfung zu berücksichtigen.

6 Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

DIN EN 206-1/DIN 1045-2 gilt für Beton, der für Ortbetonbauwerke, vorgefertigte Bauwerke sowie Fertigteile für Gebäude und Ingenieurbauwerke verwendet wird. Beide Normen sind im DIN-Fachbericht 100, März 2010, zusammengestellt.

Der Beton darf als Baustellenbeton, Transportbeton oder Beton in einem Fertigteilwerk hergestellt werden.

Tabelle 6.a: Anwendungsbereich DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Anwendungsbereich	Die Norm ist nicht anwendbar auf ...
■ Normalbeton ■ Schwerbeton ■ Leichtbeton ■ Hochfester Beton ■ Spannbeton	■ Porenbeton ■ Schaumbeton ■ Beton mit porosiertem Zementstein ■ Beton mit einer Rohdichte < 800 kg/m³ ■ Feuerfestbeton ■ hochfesten Beton mit Wärmebehandlung ■ nichttragende oder -aussteifende Bauteile (z. B. Industrieböden) ■ Beton mit haufwerksporigem Gefüge (Beton ohne Feinbestandteile) ■ Beton mit einem Größtkorn ≤ 4 mm (Ausnahme: Zementmörtel nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2)

6.1 Begriffe

Beton
Baustoff, erzeugt durch Mischen von Zement, grober und feiner Gesteinskörnung und Wasser, mit oder ohne Zugabe von Zusatzmitteln, Zusatzstoffen und Fasern. Beton erhält seine Eigenschaften durch Hydratation des Zementes.

Baustellenbeton
Beton, der auf der Baustelle vom Verwender des Betons für seine eigene Verwendung hergestellt wird.

Transportbeton
Beton, der im Transportbetonwerk gemischt und in frischem Zustand zur Baustelle gebracht wird.

Transportbeton im Sinne von DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ist auch:

- Vom Verwender außerhalb der Baustelle hergestellter Beton
- Auf der Baustelle nicht vom Verwender hergestellter Beton

Ortbeton
Beton, der als Frischbeton in Bauteile in ihrer endgültigen Lage eingebracht wird und dort erhärtet.

Festlegung
Zusammenstellung technischer Anforderungen, die dem Hersteller entweder als Eigenschaften oder Zusammensetzung vorgegeben werden.

Beton nach Eigenschaften
Beton, für den die geforderten Eigenschaften und zusätzliche Anforderungen gegenüber dem Hersteller festgelegt sind. Der Hersteller ist für die Bereitstellung eines Betons, der den geforderten Eigenschaften und den zusätzlichen Anforderungen entspricht, verantwortlich.

Beton nach Zusammensetzung
Beton, für den die Zusammensetzung und die Ausgangsstoffe, die verwendet werden müssen, dem Hersteller vorgegeben werden. Der Hersteller ist für die Lieferung eines Betons mit der festgelegten Zusammensetzung verantwortlich.

Standardbeton
Beton nach Zusammensetzung, dessen Zusammensetzung in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 vorgegeben ist.

Normalbeton
Beton mit einer Trockenrohdichte > 2000 kg/m^3 und ≤ 2600 kg/m^3.

Schwerbeton
Beton mit einer Trockenrohdichte > 2600 kg/m^3.

Leichtbeton
Beton mit einer Trockenrohdichte ≥ 800 kg/m^3 und ≤ 2000 kg/m^3. Er wird ganz oder teilweise unter Verwendung von leichter Gesteinskörnung hergestellt.

Charakteristische Festigkeit f_{ck}
Erwarteter Festigkeitswert, den nur 5 % der Grundgesamtheit aller möglichen Festigkeitsmesswerte der Menge des betrachteten Betons unterschreiten.

Expositionsklasse
Klassifizierung der chemischen und physikalischen Umgebungsbedingungen, denen der Beton ausgesetzt werden kann und die auf den Beton, die Bewehrung oder metallische Einbauteile einwirken können. Die Expositionsklassen gehen nicht als Lastannahmen in die Tragwerksplanung ein.

Mehlkorngehalt
Summe aus dem Zementgehalt, dem in den Gesteinskörnungen enthaltenen Kornanteil 0 bis 0,125 mm und gegebenenfalls dem Betonzusatzstoffgehalt.

Wasserzementwert
Masseverhältnis des wirksamen Wassergehaltes zum Zementgehalt im Frischbeton.

Äquivalenter Wasserzementwert
Masseverhältnis des wirksamen Wassergehaltes zur Summe aus Zementgehalt und k-fach anrechenbaren Anteilen von Zusatzstoffen.

Wirksamer Wassergehalt
Die Differenz zwischen der Gesamtwassermenge im Frischbeton und der Wassermenge, die von der Gesteinskörnung aufgenommen wird.

Fließbeton
Betone mit der Konsistenzbezeichnung F4 (sehr weich), F5 (fließfähig) oder F6 (sehr fließfähig).

Lieferung
Vorgang der Übergabe des Frischbetons durch den Hersteller an den Verwender.

Feuchtigkeitsklasse
Klassifizierung der Umgebungsbedingungen hinsichtlich einer möglichen schädigenden Alkalikieselsäure-Reaktion.

6.2 Klasseneinteilung

DIN EN 206-1/DIN 1045-2 unterteilt den Beton in unterschiedliche Klassen:

- Expositionsklassen und Feuchtigkeitsklassen
- Konsistenzklassen
- Druckfestigkeitsklassen
- Rohdichteklassen bei Leichtbeton
- Klassen nach dem Größtkorn der Gesteinskörnung

6.2.1 Expositionsklassen und Feuchtigkeitsklassen

Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen sind in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 die Einwirkungen der Umgebungsbedingungen in Expositionsklassen für Bewehrungs- und/oder Betonkorrosion sowie Feuchtigkeitsklassen für Betonkorrosion eingeteilt:

- Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko: X0
- Expositionsklasse für Bewehrungskorrosion: XC, XD, XS
- Expositionsklasse für Betonkorrosion: XF, XA, XM, W
- Feuchtigkeitsklasse für Betonkorrosion: W

Beton kann mehr als einer der in den Tabellen 6.2.1.1.a bis 6.2.1.8.a genannten Umgebungsbedingungen ausgesetzt sein. Diese sind als Kombination von Expositionsklassen und Feuchtigkeitsklasse anzugeben. Maßgebend für den Betonentwurf ist die jeweils schärfste Einzelanforderung.

6.2.1.1 Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko

Bauteilen ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall in nicht Beton angreifender Umgebung wird die Expositionsklasse X0 zugeordnet.

Tabelle 6.2.1.1.a: Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
X0	für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall: alle Umgebungsbedingungen, ausgenommen Frostangriff, Verschleiß oder chemischer Angriff	▪ Fundamente ohne Bewehrung und ohne Frost ▪ Innenbauteile ohne Bewehrung

6.2.1.2 Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung

Wenn Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält, Luft und Feuchtigkeit ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse nach folgender Tabelle zugeordnet werden.

Tabelle 6.2.1.2.a: Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung

Klassen-bezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
XC1	trocken oder ständig nass	▪ Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden) ▪ Beton, der ständig in Wasser getaucht ist
XC2	nass, selten trocken	▪ Teile von Wasserbehältern ▪ Gründungsbauteile
XC3	mäßige Feuchte	▪ Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat, z. B. offene Hallen, Innenräume mit hoher Luftfeuchtigkeit z. B. in gewerblichen Küchen, Bädern, Wäschereien, in Feuchträumen von Hallenbädern und in Viehställen ▪ Dachflächen mit flächiger Abdichtung ▪ Verkehrsflächen mit flächiger unterlaufsicherer Abdeckung [1)]
XC4	wechselnd nass und trocken	▪ Außenbauteile mit direkter Beregnung

[1)] Siehe DIN EN 1992-1-1/NA/A1; Instandhaltungsplan nach DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie erforderlich.

Anmerkung: Die Feuchtigkeitsbedingung bezieht sich auf den Zustand innerhalb der Betondeckung der Bewehrung oder anderen eingebetteten Metalls. Wenn keine Sperrschicht zwischen dem Beton und seiner Umgebung ist, kann angenommen werden, dass die Bedingungen in der Betondeckung den Umgebungsbedingungen entsprechen. In diesem Fall darf die Klasseneinteilung nach der Umgebungsbedingung als gleichwertig angenommen werden.

6.2.1.3 Bewehrungskorrosion durch Chloride (außer Meerwasser)

Wenn Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält, Chloriden, ausgenommen aus Meerwasser, einschließlich Taumittel, ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse nach folgender Tabelle zugeordnet werden.

Tabelle 6.2.1.3.a: Bewehrungskorrosion durch Chloride (außer Meerwasser)

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
XD1	mäßige Feuchte	■ Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen ■ Einzelgaragen ■ befahrene Verkehrsflächen mit vollflächigem Oberflächenschutz [1)]
XD2	nass, selten trocken	■ Solebäder ■ Bauteile, die chloridhaltigen Industrieabwässern ausgesetzt sind
XD3	wechselnd nass und trocken	■ Teile von Brücken mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung ■ Fahrbahndecken ■ befahrene Verkehrsflächen mit rissevermeidenden Bauweisen ohne Oberflächenschutz oder ohne Abdichtung [1)] ■ befahrene Verkehrsflächen mit dauerhaftem lokalen Schutz von Rissen [1) 2)]

1) Siehe DIN EN 1992-1-1/NA/A1; Instandhaltungsplan nach DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie erforderlich.
2) Siehe DIN EN 1992-1-1/NA/A1; lokaler Schutz nach DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie.

6.2.1.4 Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser

Wenn Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält, Chloriden aus Meerwasser oder salzhaltiger Seeluft ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse nach folgender Tabelle zugeordnet werden.

Tabelle 6.2.1.4.a: Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser

Klassen-bezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
XS1	salzhaltige Luft, aber kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe
XS2	unter Wasser	Bauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen

6.2.1.5 Betonkorrosion durch Frostangriff mit und ohne Taumittel

Wenn durchfeuchteter Beton erheblichem Angriff durch Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse nach folgender Tabelle zugeordnet werden.

Tabelle 6.2.1.5.a: Betonkorrosion durch Frostangriff mit und ohne Taumittel

Klassen-bezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
XF1	mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel	▪ Außenbauteile
XF2	mäßige Wassersättigung, mit Taumittel	▪ Bauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, soweit nicht XF4 ▪ Betonbauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser
XF3	hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	▪ offene Wasserbehälter ▪ Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser
XF4	hohe Wassersättigung, mit Taumittel	▪ Verkehrsflächen, die mit Taumitteln behandelt werden ▪ überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen ▪ Räumerlaufbahnen von Kläranlagen ▪ Meerwasserbauteile in der Wasserwechselzone

6.2.1.6 Betonkorrosion durch chemischen Angriff

Wenn Beton chemischem Angriff durch natürliche Böden, Grundwasser, Meerwasser nach Tabelle 6.2.1.6.b und Abwasser ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse nach folgender Tabelle zugeordnet werden.

Tabelle 6.2.1.6.a: Betonkorrosion durch chemischen Angriff

Klassen-bezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung nach Tabelle 6.2.1.6.b	▪ Behälter von Kläranlagen ▪ Güllebehälter
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung nach Tabelle 6.2.1.6.b und Meeresbauwerke	▪ Betonbauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen ▪ Bauteile in betonangreifenden Böden
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung nach Tabelle 6.2.1.6.b	▪ Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern ▪ Futtertische der Landwirtschaft ▪ Kühltürme mit Rauchgasableitung

Anmerkung: Bei XA3 und unter Umgebungsbedingungen außerhalb der Grenzwerte von Tabelle 6.2.1.6.b, bei Anwesenheit anderer angreifender Chemikalien, chemisch verunreinigtem Boden oder Wasser, bei hoher Fließgeschwindigkeit von Wasser und Einwirkung von Chemikalien nach Tabelle 6.2.1.6.b sind Anforderungen an den Beton oder Schutzmaßnahmen in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 vorgegeben (siehe auch Tabelle 6.3.2.e).

Tabelle 6.2.1.6.b: Grenzwerte bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser

Chemisches Merkmal	Referenzprüf-verfahren	XA1	XA2	XA3
Grundwasser [1]				
SO_4^{2-} [mg/l] [2]	DIN EN 196-2 / DIN 4030-2	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3000	> 3000 und ≤ 6000
pH-Wert [-]	ISO 4316 / DIN 4030-2	≤ 6,5 und ≥ 5,5	< 5,5 und ≥ 4,5	< 4,5 und ≥ 4,0
CO_2 [mg/l] angreifend	DIN 4030-2	≥ 15 und ≤ 40	> 40 und ≤ 100	> 100 bis zur Sättigung
NH_4^+ [mg/l] [3]	ISO 7150-1 / DIN 4030-2	≥ 15 und ≤ 30	> 30 und ≤ 60	> 60 und ≤ 100
Mg^{2+} [mg/l]	DIN EN ISO 7980 / DIN 4030-2	≥ 300 und ≤ 1000	> 1000 und ≤ 3000	> 3000 bis zur Sättigung
Boden [1]				
SO_4^{2-} [mg/kg] [4] insgesamt	DIN EN 196-2 [5] / DIN 4030-2	≥ 2000 und ≤ 3000 [7]	> 3000 [6] und ≤ 12000	> 12000 und ≤ 24000
Säuregrad	DIN 4030-2	> 200	in der Praxis nicht anzutreffen	

Fußnoten siehe Seite 93

[1] Die Klasseneinteilung chemisch angreifender Umgebungen gilt für natürliche Böden und Grundwasser mit einer Wasser- bzw. Boden-Temperatur zwischen 5 °C und 25 °C und einer Fließgeschwindigkeit des Wassers, die klein genug ist, um näherungsweise hydrostatische Bedingungen anzunehmen.
[2] Falls der Sulfatgehalt des Grundwassers > 600 mg/l beträgt, ist dies im Rahmen der Festlegung des Betons anzugeben.
[3] Gülle kann, unabhängig vom NH_4^+-Gehalt, in die Expositionsklasse XA1 eingeordnet werden.
[4] Tonböden mit einer Durchlässigkeit von weniger als 10^{-5} m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.
[5] Das Prüfverfahren beschreibt die Auslaugung von SO_4^{2-} durch Salzsäure; Wasserauslaugung darf stattdessen angewandt werden, wenn am Ort der Verwendung des Betons Erfahrung hierfür vorhanden ist.
[6] Falls die Gefahr besteht, dass durch wechselndes Trocknen und Durchfeuchten oder kapillares Saugen Sulfationen im Beton angehäuft werden, ist der Grenzwert von 3000 mg/kg auf 2000 mg/kg zu vermindern.
[7] Nach Baumann-Gully

Anmerkung: Es gilt die höchste Angriffsklasse, die aus den einzelnen chemischen Merkmalen ermittelt wurde. Führen zwei oder mehrere angreifende Merkmale zu derselben Klasse, muss die Umgebung der nächsthöheren Klasse zugeordnet werden, sofern nicht speziell für diesen Fall nachgewiesen wird, dass dies nicht erforderlich ist. Auf einen Nachweis kann verzichtet werden, wenn keiner der Werte im oberen Viertel (bei pH im unteren Viertel) liegt. Hinsichtlich Vorkommen und Wirkungsweise von chemisch angreifenden Böden und Grundwasser siehe DIN 4030-1.

6.2.1.7 Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung

Wenn Beton einer erheblichen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse nach folgender Tabelle zugeordnet werden.

Tabelle 6.2.1.7.a: Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	▪ tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	▪ tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung	▪ tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch elastomer- oder stahlrollenbereifte Gabelstapler ▪ Oberflächen, die häufig mit Kettenfahrzeugen befahren werden ▪ Wasserbauwerke in geschiebebelasteten Gewässern, z. B. Tosbecken

6.2.1.8 Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Anhand der zu erwartenden Umgebungsbedingungen ist der Beton einer der vier Feuchtigkeitsklassen nach Tabelle 6.2.1.8.a zuzuordnen.

Tabelle 6.2.1.8.a: Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Klassen-bezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung der Feuchtigkeitsklassen
WO	Beton, der nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt (trocken)	▪ Innenbauteile eines Hochbaus ▪ Bauteile, auf die Außenluft, aber kein Niederschlag, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken und/oder die nicht ständig einer rel. Luftfeuchte > 80 % ausgesetzt sind
WF	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist (feucht)	▪ Ungeschützte Außenbauteile ▪ Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, in denen die rel. Luftfeuchte überwiegend > 80 % ist (z. B. Hallenbäder, Wäschereien, andere gewerbliche Feuchträume) ▪ Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung (z. B. Schornsteine, Wärmeübertragerstationen, Filterkammern und Viehställe) ▪ Massige Bauteile, deren kleinstes Maß > 0,80 m ist (unabhängig vom Feuchtezutritt)
WA	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist und zusätzlich häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt ist (feucht + Alkalizufuhr von außen)	▪ Bauteile mit Meerwassereinwirkung ▪ Bauteile mit Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung (z. B. Spritzwasserbereiche, Fahr- und Stellflächen in Parkhäusern) ▪ Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken mit Alkalisalzeinwirkung (z. B. Güllebehälter)
WS [1)]	Beton, der Klasse WA mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (feucht + Alkalizufuhr von außen + starke dynamische Beanspruchung)	▪ Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (Betonfahrbahnen der Belastungsklasse Bk100 bis Bk1,8 nach RStO)

[1)] Die Feuchtigkeitsklasse WS ist in DIN EN 1992-1-1/NA nicht enthalten. WS wird nur für hochbeanspruchte Fahrbahndecken aus Beton nach TL Beton-StB angewendet (siehe auch BTD-Kapitel 13.3, Tabelle 13.3.1.a).

6.2.2 Konsistenzklassen

Die Beschreibung der Konsistenz von Frischbeton erfolgt über die Konsistenzklassen der Tabellen 6.2.2.a bis 6.2.2.d.

Die bevorzugten Prüfverfahren in Deutschland sind die Prüfung des Ausbreitmaßes (Tabelle 6.2.2.d) und für steifere Betone die Prüfung des Verdichtungsmaßes (Tabelle 6.2.2.c). Die Prüfverfahren und ihre Durchführung sind in BTD-Kapitel 11.1.2 beschrieben.

Tabelle 6.2.2.a: Setzmaßklassen

Klasse	Setzmaß [mm]
S1	10 bis 40
S2	50 bis 90
S3	100 bis 150
S4	160 bis 210
S5 [1)]	≥ 220

[1)] Empfohlener Anwendungsbereich nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2: ≥ 10 mm und ≤ 210 mm.

Tabelle 6.2.2.b: Setzzeit-Klassen (Vebe)

Klasse	Setzzeit [s]
V0 [1)]	≥ 31
V1	30 bis 21
V2	20 bis 11
V3	10 bis 6
V4 [1)]	5 bis 3

[1)] Empfohlener Anwendungsbereich nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2: ≤ 30 s und > 5 s.

Tabelle 6.2.2.c: Verdichtungsmaßklassen

Klasse	Verdichtungsmaß [-]	Konsistenzbereich
C0 [1)]	≥ 1,46	sehr steif
C1	1,45 bis 1,26	steif
C2	1,25 bis 1,11	plastisch
C3 [1)]	1,10 bis 1,04	weich
C4 [2)]	< 1,04	-

1) Empfohlener Anwendungsbereich nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2: ≥ 1,04 und < 1,46.
2) Gilt nur für Leichtbeton.

Tabelle 6.2.2.d: Ausbreitmaßklassen

Klasse	Ausbreitmaß [mm]	Konsistenzbereich
F1 [1)]	≤ 340	steif
F2	350 bis 410	plastisch
F3	420 bis 480	weich
F4	490 bis 550	sehr weich
F5	560 bis 620	fließfähig
F6 [1) 2)]	≥ 630	sehr fließfähig

1) Empfohlener Anwendungsbereich nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2: > 340 mm und ≤ 620 mm.
2) Bei Ausbreitmaßen über 700 mm ist die DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ zu beachten.

6.2.3 Druckfestigkeitsklassen

Beton kann nach seiner Druckfestigkeit in Klassen eingeteilt werden. Es gelten die nachfolgenden Tabellen für Normal- und Schwerbeton sowie für Leichtbeton.

Für die Klassifizierung wird die charakteristische Festigkeit von Zylindern mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Länge ($f_{ck,cyl}$) oder von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge ($f_{ck,cube}$) im Prüfalter von 28 Tagen verwendet.

Grundsätzlich ist die Druckfestigkeit zur Bestimmung der charakteristischen Festigkeit und Zuordnung der Festigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 an Probekörpern im Alter von 28 Tagen nachzuweisen. Eine Abweichung davon ist nur möglich, wenn entweder die

DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ angewendet werden kann oder alle folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- Ein höheres Prüfalter ist technisch erforderlich (z. B. bei fugenarmen Konstruktionen oder Bauteilen mit hohen Anforderungen an die Rissbreitenbegrenzung).
- Der Verwender hat der Überwachungsstelle einen projektbezogenen Qualitätssicherungsplan zur Genehmigung vorgelegt, der die Ausschalfristen, die Nachbehandlung und den Bauablauf festlegt.
- Eine Überwachungsstelle bestätigt die Notwendigkeit des erhöhten Prüfalters und der Beton wird den Regeln der Überwachungsklasse 2 nach DIN EN 1992-1-1/DIN 1045-3 unterworfen.
- Das Lieferverzeichnis weist das höhere Prüfalter der Druckfestigkeit aus.

Tabelle 6.2.3.a: Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton

Druckfestigkeitsklasse	$f_{ck,cyl}$ [1] [N/mm²]	$f_{ck,cube}$ [2] [N/mm²]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67 [3]	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105 [4]	90	105
C100/115 [4]	100	115

[1] $f_{ck,cyl}$ = charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Zylindern (Durchmesser 150 mm, Länge 300 mm, Alter 28 Tage, Wasserlagerung).

Fortführung der Fußnoten auf Seite 98

[2] $f_{ck,cube}$ = charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Würfeln (Kantenlänge 150 mm, Alter 28 Tage, Wasserlagerung).
[3] Ab Druckfestigkeitsklasse C55/67: Hochfester Beton.
[4] Druckfestigkeitsklassen C90/105 und C100/115: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

Tabelle 6.2.3.b: Druckfestigkeitsklassen für Leichtbeton

Druckfestigkeitsklasse	$f_{ck,cyl}$ [1] [N/mm²]	$f_{ck,cube}$ [2] [3] [N/mm²]
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60 [4]	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77 [5]	70	77
LC80/88 [5]	80	88

[1] $f_{ck,cyl}$ = charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Zylindern (Durchmesser 150 mm, Länge 300 mm, Alter 28 Tage, Wasserlagerung).
[2] $f_{ck,cube}$ = charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Würfeln (Kantenlänge 150 mm, Alter 28 Tage, Wasserlagerung).
[3] Es dürfen andere Werte verwendet werden, wenn das Verhältnis zwischen diesen und der Referenzfestigkeit von Zylindern mit genügender Genauigkeit nachgewiesen ist.
[4] Ab Druckfestigkeitsklasse LC55/60: Hochfester Leichtbeton.
[5] Druckfestigkeitsklassen LC70/77 und LC80/88: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

6.2.4 Klassen nach Größtkorn der Gesteinskörnung

Für die Beschreibung von Beton nach dem Größtkorn der Gesteinskörnung wird der Nennwert des Größtkorns der gröbsten Gesteinskörnung im Beton (D_{max}) angegeben.

6.2.5 Rohdichteklassen

Wird Leichtbeton nach seiner Rohdichte in Klassen eingeteilt, gilt nachfolgende Tabelle.

Tabelle 6.2.5.a: Klasseneinteilung von Leichtbeton nach der Rohdichte

Rohdichteklasse	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Rohdichtebereich [kg/m³]	≥ 800 und ≤ 1000	> 1000 und ≤ 1200	> 1200 und ≤ 1400	> 1400 und ≤ 1600	> 1600 und ≤ 1800	> 1800 und ≤ 2000

6.3 Anforderungen an Beton

6.3.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Die Ausgangsstoffe dürfen keine schädlichen Bestandteile in solchen Mengen enthalten, dass diese die Dauerhaftigkeit des Betons nachteilig beeinflussen oder eine Korrosion der Bewehrung verursachen. Sie müssen für die festgelegte Verwendung im Beton geeignet sein.

- Zement (siehe BTD-Kapitel 1)
  - Nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-11, DIN 1164-12 und DIN EN 14216
  - Nach festgelegtem Anwendungsbereich in Abhängigkeit von den Expositionsklassen, siehe Tabellen 6.3.3.a bis 6.3.3. d
- Gesteinskörnungen (siehe BTD-Kapitel 2)
  - Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620
  - Leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1 (siehe BTD-Kapitel 2.3)
  - Rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-101 und DIN 4226-102 (siehe BTD-Kapitel 2.4), jedoch nur Gesteinskörnungstypen Typ 1 und Typ 2 (DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“ beachten)
  - Auswahl der Art und Eigenschaften der Gesteinskörnung entsprechend der Verwendung (z. B. Frostwiderstand, Widerstand gegen Abrieb)
  - Auswahl der Korngröße der Gesteinskörnungen entsprechend der Betondeckung und der geringsten Querschnittsmaße
  - Kornzusammensetzung der Gesteinskörnungen gekennzeichnet durch Sieblinien (siehe BTD-Kapitel 2.7.1)

- Natürlich zusammengesetzte (nicht aufbereitete) Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 darf nur für Beton der Festigkeitsklasse ≤ C12/15 verwendet werden
- Wiedergewonnene Gesteinskörnung aus Frischbeton oder Restwasser darf verwendet werden, wenn diese die Anforderungen nach DIN EN 12620 erfüllen
- Für die Beurteilung und Verwendung von Gesteinskörnungen, die schädliche Mengen an alkalilöslicher Kieselsäure enthalten oder bei denen diese nicht sicher auszuschließen sind, ist die Alkali-Richtlinie des DAfStb anzuwenden (siehe BTD-Kapitel 2.5.). Ist für die Gesteinskörnung keine Alkaliempfindlichkeitsklasse angegeben, ist die Klasse E III anzunehmen

- Zusatzmittel (siehe BTD-Kapitel 3)
  - Nach DIN EN 934-2 und DIN EN 934-1
- Zusatzstoffe (siehe BTD-Kapitel 4)
  - Typ I: Füller (Gesteinsmehl) nach DIN EN 12620
    Pigment nach DIN EN 12878
  - Typ II: Flugasche nach DIN EN 450-1
    Silikastaub nach DIN EN 13263-1
    Trass nach DIN 51043
    Hüttensandmehl nach DIN EN 15167-1 (BTD-Kapitel 4.2 beachten)
- Fasern (siehe BTD-Kapitel 4)
  - Stahlfasern nach DIN EN 14889-1
  - Polymerfasern nach DIN EN 14889-2 mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Zugabewasser (siehe BTD-Kapitel 5)
  - Nach DIN EN 1008
  - Restwasser nach DIN EN 1008, jedoch nicht für hochfesten und LP-Beton

6.3.2 Anforderungen an Beton in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

In Abhängigkeit von den Expositionsklassen legt DIN EN 206-1/DIN 1045-2 Anforderungen an die Betonzusammensetzung fest.

Grundlage ist die Annahme einer beabsichtigten Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren unter üblichen Instandhaltungsbedingungen.

Diese Anforderungen umfassen folgende Kriterien:

- Zulässige Arten und Klassen von Ausgangsstoffen
- Höchstzulässiger Wasserzementwert
- Mindestzementgehalt
- Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons
- Mindestluftgehalt des Betons (falls erforderlich)

Bei Übereinstimmung des Betons mit den Anforderungen gilt als nachgewiesen, dass die Dauerhaftigkeit für die beabsichtigte Verwendung unter den maßgebenden Umgebungsbedingungen erreicht wird. Dabei wird vorausgesetzt, dass

- der Beton ordnungsgemäß nach DIN EN 1992-1-1/DIN 1045-3 eingebracht, verdichtet und nachbehandelt wird,
- die Mindestbetondeckung der Bewehrung (siehe Tabelle 10.1.1.b) eingehalten wird,
- die geeigneten Expositions- und Feuchtigkeitsklassen ausgewählt wurden und
- eine angemessene Instandhaltung durchgeführt wird.

Die folgenden Tabellen 6.3.2.a bis 6.3.2.f enthalten die Anforderungen an die Betonzusammensetzung und Eigenschaften von Beton in Abhängigkeit von den Expositionsklassen.

Die Anforderungen an Beton mit den Feuchtigkeitsklassen W (Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion) sind in den BTD-Kapiteln 2.5 und 6.2.1.8 beschrieben Bei Feuchtigkeitsklasse WO sind keine vorbeugenden Maßnahmen erforderlich

Tabelle 6.3.2.a: Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung

Expositionsklassen	kein Korrosions- oder Angriffsrisiko	Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung			
	X0 [1]	XC1	XC2	XC3	XC4
maximaler w/z-Wert	–	0,75		0,65	0,60
Mindestdruckfestigkeitsklasse [2]	C8/10	C16/20		C20/25	C25/30
Mindestzementgehalt [3] [kg/m³]	–	240		260	280
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen [3] [kg/m³]	–	240		240	270

Fußnoten siehe Seiten 104/105

Tabelle 6.3.2.b: Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Bewehrungskorrosion durch Chloride (kein Meerwasser)

Expositionsklassen	Bewehrungskorrosion durch Chloride (außer Meerwasser)		
	XD1	XD2	XD3
maximaler w/z-Wert	0,55	0,50	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse [2]	C30/37 [4]	C35/45 [4] [5]	C35/45 [4]
Mindestzementgehalt [3] [kg/m³]	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen [3] [kg/m³]	270	270	270

Fußnoten siehe Seiten 104/105

Tabelle 6.3.2.c: Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser

Expositionsklassen	Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser		
	XS1	XS2	XS3
maximaler w/z-Wert	0,55	0,50	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse [2]	C30/37 [4]	C35/45 [4] [5]	C35/45 [4]
Mindestzementgehalt [3] [kg/m³]	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen [3] [kg/m³]	270	270	270

Fußnoten siehe Seiten 104/105

Tabelle 6.3.2.d: Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Betonkorrosion durch Frost- und Frost-Tausalzangriff

Expositionsklassen	Betonkorrosion durch Frostangriff mit und ohne Taumittel					
	XF1	XF2		XF3		XF4
maximaler w/z-Wert	0,60	0,55 [6]	0,50 [6]	0,55	0,50	0,50 [6]
Mindestdruckfestigkeitsklasse [2]	C25/30	C25/30	C35/45 [5]	C25/30	C35/45 [5]	C30/37
Mindestzementgehalt [3] [kg/m³]	280	300	320	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen [3] [kg/m³]	270	270 [6]	270 [6]	270	270	270 [6]
Mindestluftgehalt [%]	-	[7]	-	[7]	-	[7] [8]
andere Anforderungen	Gesteinskörnungen für die Expositionsklassen XF1 bis XF4 (siehe Tabellen 2.2.1.d und 2.2.1.e)					
	F_4	MS_{25}		F_2		MS_{18}

Fußnoten siehe Seiten 104/105

Tabelle 6.3.2.e: Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Betonkorrosion durch chemischen Angriff

Expositionsklassen	Betonkorrosion durch chemischen Angriff		
	XA1	XA2 [12]	XA3 [13] [12]
maximaler w/z-Wert	0,60	0,50	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse [2]	C25/30	C35/45 [4] [5]	C35/45 [4]
Mindestzementgehalt [3] [kg/m³]	280	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen [3] [kg/m³]	270	270	270

Fußnoten siehe Seiten 104/105

Tabelle 6.3.2.f: Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton zur Vermeidung von Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung

Expositionsklassen	Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung [9]			
	XM1	XM2		XM3
maximaler w/z-Wert	0,55	0,55	0,45	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse [2]	C30/37 [4]	C30/37 [4]	C35/45 [4]	C35/45 [4]
Mindestzementgehalt [3] [kg/m³]	300 [10]	300 [10]	320 [10]	320 [10]
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen [3] [kg/m³]	270	270	270	270
andere Anforderungen	–	Oberflächenbehandlung [11]	–	Hartstoffe nach DIN 1100 [14]

1) Nur für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall.
2) Gilt nicht für Leichtbeton.
3) Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.
4) Bei Verwendung von Luftporenbeton eine Festigkeitsklasse niedriger.
5) Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen (r<0,30) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.
6) Die Anrechnung auf den Mindestzementgehalt und den w/z-Wert ist nur bei Verwendung von Flugasche zulässig. (Siehe BTD-Kapitel 4.1.1). Weitere Zusatzstoffe des Typs II dürfen zugesetzt, aber nicht angerechnet werden. Bei gleichzeitiger Zugabe von Flugasche und Silikastaub ist eine Anrechnung auch für die Flugasche ausgeschlossen.
7) Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn D_{max} der Gesteinskörnung von 8 mm ≥ 5,5 Vol.-%, 16 mm ≥ 4,5 Vol.-%, 32 mm ≥ 4,0 Vol.-% und 63 mm ≥ 3,5 Vol.-% betragen. Einzelwerte dürfen diese Werte um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten. Für Fließbeton (Konsistenzklasse ≥ F4) ist der Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% zu erhöhen. Als oberer Grenzwert gilt der festgelegte Mindestluftgehalt plus 4 Vol.-%. Das „Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton“ der FGSV ist zu beachten.
8) Erdfeuchter Beton mit w/z ≤ 0,40 darf ohne Luftporen hergestellt werden.

[9] Es dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 eingesetzt werden. Anmerkung: Die Gesteinskörnungen sollten mäßig raue Oberfläche und gedrungene Gestalt haben. Das Gesteinskorngemisch soll möglichst grobkörnig sein.
[10] Höchstzementgehalt 360 kg/m^3, jedoch nicht bei hochfestem Beton.
[11] Z. B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons.
[12] Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen bei Meerwasser) muss oberhalb der Expositionsklasse XA1 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) verwendet werden. Siehe auch BTD-Kapitel 4.1.4
[13] Schutzmaßnahmen wie z. B. Schutzschichten oder dauerhafte Bekleidungen sind für den Beton erforderlich bei
- chemischem Angriff der Expositionsklasse XA3 oder stärker,
- hoher Fließgeschwindigkeit von Wasser und Mitwirkung von Chemikalien nach Tabelle 6.2.1.6.b.

Greifen andere Chemikalien als nach Tabelle 6.2.1.6.b an oder ist der Untergrund verunreinigt, sind die Auswirkungen des chemischen Angriffs zu klären und Schutzmaßnahmen individuell festzulegen.
[14] Z. B. Hartstoffeinstreuung.

6.3.3 Anwendungsbereiche für Normzemente zur Herstellung von Beton

Den Tabellen 6.3.3.a bis 6.3.3.d kann entnommen werden, für welche Expositionsklassen die einzelnen Normzemente verwendet werden dürfen. Für ausgewählte CEM-II-M-Zemente sowie CEM-IV- und CEM-V-Zemente gelten die Festlegungen der Tabellen 6.3.3.b und 6.3.3.c. Für VLH-Zemente gilt Tabelle 6.3.3.d. Für alle dort nicht aufgeführten Zemente gilt Tabelle 6.3.3.a.

Tabelle 6.3.3.a: Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12 und FE-Zemente sowie CEM I-SE und CEM II-SE nach DIN 1164-11 zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [1)]

Expositionsklassen ■ = gültiger Anwendungsbereich □ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar			kein Korrosions-/ Angriffrisiko	Bewehrungskorrosion							
				durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride			
								andere Chloride als Meerwasser			
			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	
CEM I			■	■	■	■	■	■	■	■	
CEM II	A/B	S	■	■	■	■	■	■	■	■	
	A	D	■	■	■	■	■	■	■	■	
	A/B	P/Q	■	■	■	■	■	■	■	■	
	A	V [9)]	■	■	■	■	■	■	■	■	
	B		■	■	■	■	■	■	■	■	
	A	W [9)]	■	■	■	□	□	□	□	□	
	B		■	□	■	□	□	□	□	□	
	A/B	T	■	■	■	■	■	■	■	■	
	A	LL	■	■	■	■	■	■	■	■	
	B		■	■	■	□	□	□	□	□	
	A	L	■	■	■	■	■	■	■	■	
	B		■	■	■	□	□	□	□	□	
	A	M [5) 9)]	■	■	■	□	□	□	□	□	
	B		■	□	■	□	□	□	□	□	
CEM III	A		■	■	■	■	■	■	■	■	
	B		■	■	■	■	■	■	■	■	
	C		■	□	■	□	□	□	■	□	
CEM IV [5) 9)]	A/B		■	□	■	□	□	□	□	□	
CEM V [5) 9)]	A/B		■	□	■	□	□	□	□	□	

Fußnoten siehe Seite 110

				Betonkorrosion											
verursachte Korrosion				Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			Spannstahl-verträglichkeit
	Chloride aus Meerwasser													
	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 [4]	XA3 [4]	XM1	XM2	XM3	
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	■	■	□
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■
	■	■	■	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	■	■	■	■	■	■	■ [2]	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■ [3]	■	■	■	■	■	■	■
	□	■	□	□	□	□	□	■	■	■	□	□	□	□
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

Tabelle 6.3.3.b: Anwendungsbereiche für CEM-II-M-Zemente mit drei Hauptbestandteilen nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12 und FE-Zemente sowie CEM II-SE nach DIN 1164-11 zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [1)]

Expositionsklassen ■ = gültiger Anwendungsbereich □ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar		kein Korrosions-/ Angriffrisiko	Bewehrungskorrosion						
			durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride		
							andere Chloride als Meerwasser		
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
CEM II/A-M	S-D; S-T; S-LL; D-T; D-LL; T-LL; S-V [9)]; V-T [9)]; V-LL [9)]	■	■	■	■	■	■	■	■
	S-P; D-P; D-V [9)]; P-V [9)]; P-T; P-LL	■	■	■	■	■	■	■	■
CEM II/B-M	S-D; S-T; D-T; S-V [9)]; V-T [9)]	■	■	■	■	■	■	■	■
	S-P; D-P; D-V [9)]; P-T; P-V [9)]	■	■	■	■	■	■	■	■
	S-LL; D-LL; P-LL; V-LL [9)]; T-LL	■	■	■	□	□	□	□	□

Fußnoten siehe Seite 110

Tabelle 6.3.3.c: Anwendungsbereiche für Zemente CEM IV und CEM V mit zwei bzw. drei Hauptbestandteilen nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12 und FE-Zemente nach DIN 1164-11 zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [1)]

Expositionsklassen ■ = gültiger Anwendungsbereich □ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar			kein Korrosions-/ Angriffrisiko	Bewehrungskorrosion						
				durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride		
								andere Chloride als Meerwasser		
			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
CEM IV	B	P [7)]	■	■	■	■	■	■	■	■
CEM V	A/B	S-P [8)]								

Fußnoten siehe Seite 110

	Betonkorrosion												
verursachte Korrosion				Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			Spannstahl-verträglichkeit
	Chloride aus Meerwasser													
	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 [4)]	XA3 [4)]	XM1	XM2	XM3	
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■ [6)]
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■ [6)]
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■ [6)]

	Betonkorrosion												
verursachte Korrosion				Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			Spannstahl-verträglichkeit
	Chloride aus Meerwasser													
	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 [4)]	XA3 [4)]	XM1	XM2	XM3	
	■	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	□	□	□

Tabelle 6.3.3.d: Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 14216 zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [1)]

Expositionsklassen ■ = gültiger Anwendungsbereich □ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar		kein Korrosions-/ Angriffrisiko	Bewehrungskorrosion						
			durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride		
							andere Chloride als Meerwasser		
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
VLH	III/B	■	□	■	□	□	□	■	□
	III/C								
	IV/A [9)]	■	□	■	□	□	□	□	□
	IV/B [9)]								
	V/A [9)]								
	V/B [9)]								

1) Für die Verwendung von Zementen, die nach dieser Tabelle nicht anwendbar sind, ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich.
2) Festigkeitsklasse ≥ 42,5 oder Festigkeitsklasse 32,5 R mit einem Hüttensandgehalt ≤ 50 M.-%.
3) CEM III/B darf nur für die folgenden Anwendungsfälle verwendet werden:
a) Meerwasserbauteile: w/z ≤ 0,45; Mindestfestigkeitsklasse C35/45 und z ≥ 340 kg/m^3
b) Räumerlaufbahnen: w/z ≤ 0,35; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und z ≥ 360 kg/m^3; Beachtung von DIN EN 12255-1
Auf Luftporen kann in beiden Fällen verzichtet werden.
4) Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen bei Meerwasser) muss oberhalb der Expositionsklasse XA1 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) verwendet werden. Siehe auch BTD-Kapitel 1.2.2 und 4.1.4.
5) Bestimmte Kombinationen können günstiger sein. Für CEM-II-M-Zemente mit drei Hauptbestandteilen siehe Tabelle 6.3.3.b. Für CEM-IV- und CEM-V-Zemente mit zwei bzw. drei Hauptbestandteilen siehe Tabelle 6.3.3.c.
6) Zemente, die P enthalten, sind ausgeschlossen, da sie bisher für diesen Anwendungsfall nicht überprüft wurden.
7) Gilt nur für Trass nach DIN 51043 als Hauptbestandteil bis maximal 40 M.-%.
8) Gilt nur für Trass nach DIN 51043 als Hauptbestandteil.
9) Zemente dürfen nur Flugaschen mit bis zu 5 M.-% Glühverlust enthalten.

				Betonkorrosion										Spannstahl-verträglichkeit
verursachte Korrosion				Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
	Chloride aus Meerwasser													
	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 [4]	XA3 [4]	XM1	XM2	XM3	
	□	■	□	□	□	□	□	■	■	■	□	□	□	□
	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

6

6.3.4 Anforderungen an den Mehlkorngehalt

Der Mehlkornanteil setzt sich zusammen aus:

- Zement
- Kornanteil der Gesteinskörnung < 0,125 mm
- Betonzusatzstoff

Tabelle 6.3.4.a: Höchstzulässiger Mehlkorngehalt für Beton bis C50/60 und LC50/55 in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Zementgehalt [1] [kg/m³]	Höchstzulässiger Mehlkorngehalt [kg/m³]		
	XF, XM		XO, XC, XD, XS, XA
	D_{max} = 8 mm	D_{max} ≥ 16 mm	D_{max} ≥ 8 mm
≤ 300	450	400 [2]	550
≥ 350	500	450 [2]	550

[1] Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

[2] Die Werte dürfen insgesamt um maximal 50 kg/m³ erhöht werden, wenn
- der Zementgehalt 350 kg/m³ übersteigt, um den über 350 kg/m³ hinausgehenden Zementgehalt,
- ein puzzolanischer Betonzusatzstoff des Typs II verwendet wird, um dessen Gehalt.

Tabelle 6.3.4.b: Höchstzulässiger Mehlkorngehalt für Beton ab Betonfestigkeitsklasse C55/67 und LC55/60 bei allen Expositionsklassen

Zementgehalt [1] [kg/m³]	Höchstzulässiger Mehlkorngehalt [kg/m³]	
	XO, XC, XD, XS, XA, XF, XM	
	D_{max} = 8 mm	D_{max} ≥ 16 mm
≤ 400	550	500 [2]
450	600	550 [2]
≥ 500	650	600 [2]

[1] Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.
[2] Die Werte dürfen, wenn ein puzzolanischer Betonzusatzstoff des Typs II verwendet wird, um dessen Gehalt erhöht werden, insgesamt jedoch um maximal 50 kg/m³.

6.3.5 Anforderungen an den Luftgehalt bei Frost- und Frost-Tausalzangriff

Um eine hohe Widerstandsfähigkeit des Betons gegenüber Frost- und Frost-Tausalzangriff zu erreichen, können im Beton künstliche Luftporen erzeugt werden. Dies gelingt durch Zugabe von Luftporenbildnern (LP-Bildner, siehe BTD-Kapitel 3.4).

Die Notwendigkeit einer Zugabe von LP-Bildnern in den Beton ist in Abhängigkeit von den Expositionsklassen geregelt (Tabelle 6.3.2.d). Die erforderlichen mittleren Mindestluftgehalte in Abhängigkeit vom Größtkorn der Gesteinskörnung enthält Tabelle 6.3.5.a.

Tabelle 6.3.5.a: Mittlerer Mindestluftgehalt im Frischbeton vor dem Einbau

Größtkorn der Gesteinskörnung [mm]	Mittlerer Mindestluftgehalt [1] [2] in Abhängigkeit der Konsistenzklasse [Vol.-%]	
	C0, C1, C2 F1, F2, F3	≥ F4 [3]
8	5,5	6,5
16	4,5	5,5
32	4,0	5,0
63	3,5	4,5

[1] Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten.
[2] Als oberer Grenzwert des Luftgehaltes gilt der festgelegte mittlere Mindestluftgehalt plus 4 Vol.-% absolut.
[3] Für Fließbeton (Konsistenzklasse ≥ F4) ist das „Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton“ der FGSV zu beachten.

6.3.6 Anforderungen an den Chloridgehalt

Tabelle 6.3.6.a: Höchstzulässiger Chloridgehalt von Beton

Betonverwendung	Klasse des Chloridgehalts	Höchstzulässiger Chloridgehalt bezogen auf den Zement [1] [M.-%]
unbewehrter Beton (mit Ausnahme von korrosionsbeständigen Anschlagvorrichtungen)	Cl 1,00	1,00
Stahlbeton	Cl 0,40	0,40
Spannbeton	Cl 0,20	0,20

[1] Werden Zusatzstoffe des Typs II verwendet und auf den Zementgehalt angerechnet, wird der Chloridgehalt bezogen auf den Zement- und den Gesamtgehalt der berücksichtigten Zusatzstoffe ausgedrückt.

Die Anforderungen der Tabelle 6.3.6.a an den Chloridgehalt gelten als erfüllt, wenn der Chloridgehalt jedes Ausgangsstoffes (außer Gesteinskörnungen und Zementart CEM III) den Anforderungen der niedrigsten Einstufung des für den Ausgangsstoff gültigen Regelwerks genügt.

Für den Chloridgehalt von Gesteinskörnungen gelten folgende obere Grenzwerte:

- 0,15 M.-% für unbewehrten Beton
- 0,04 M.-% für Stahlbeton
- 0,02 M.-% für Spannbeton

Für den Chloridgehalt der Zementart CEM III gilt als oberer Grenzwert:

- 0,10 M.-% für alle Betone

6.3.7 Anforderungen bei Lieferung des Betons

Frischbetontemperatur

Die Frischbetontemperatur darf zum Zeitpunkt der Lieferung nicht unter 5 °C liegen. Wenn eine andere Mindest- oder Höchsttemperatur für Frischbeton erforderlich ist, müssen diese mit zulässigen Abweichungen festgelegt werden. Jede Anforderung bezüglich Kühlens oder Erwärmens des Betons muss vor der Lieferung zwischen Hersteller und Verwender vereinbart werden. Zusätzlich gibt es Anforderungen an die Betontemperatur beim Einbau (siehe BTD-Kapitel 10.3).

Nachträgliche Wasserzugabe
Eine nachträgliche Wasserzugabe ist nicht erlaubt, es sei denn, sie ist planmäßig vorgesehen. In diesem Fall gelten folgende Bedingungen:

- Gesamtwassermenge und nachträglich nach Erstprüfung noch zugebbare Wassermenge müssen auf dem Lieferschein vermerkt werden.
- Der Fahrmischer muss mit einer geeigneten Dosiereinrichtung ausgestattet sein.
- Die Probenentnahme zur Produktionskontrolle muss nach der letzten Wasserzugabe erfolgen.

Fließmittelzugabe
Durch eine Fließmittelzugabe in den Fahrmischer kann die vereinbarte Einbaukonsistenz eingestellt werden. Die Verwendung von Fließmittel ist nur möglich, wenn diese beim Betonentwurf vorgesehen wurde.

Die Menge des jeweils in den Fahrmischer zugegebenen Fließmittels muss auf dem Lieferschein vermerkt werden.

Für Fließbeton sind zusätzlich bei Zugabe von Fließmittel auf der Baustelle handschriftlich auf dem Lieferschein einzutragen:

- Zugabezeitpunkt
- Geschätzte Betonrestmenge in der Mischertrommel vor Zugabe

6.3.8 Anforderungen an Betone mit besonderen Eigenschaften

Tabelle 6.3.8.a: Anforderungen an Betone mit besonderen Eigenschaften

Betoneigenschaften	Anforderungen
Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	▪ siehe BTD-Kapitel 12.4
Unterwasserbeton für tragende Bauteile	▪ $w/z \leq 0{,}60$ [1)] ▪ Mindestzementgehalt: 350 kg/m³ (bei D_{max} 32 mm) ▪ k-Wert-Ansatz für die Anrechnung von Flugasche: (in Abhängigkeit von Expositionsklassen siehe zusätzlich Tabelle 6.3.2.a bis f) ▪ $z + f \geq 350$ kg/m³ ▪ $w/z_{eq} = w/(z + 0{,}7 \cdot f) \leq 0{,}60$ [1)] ▪ Grenzwerte des Mehlkorngehaltes nach Tabelle 6.3.4.a und 6.3.4.b dürfen überschritten werden ▪ Konsistenz: ≥ F3 (ungeschockt), damit der Beton beim Einbringen als zusammenhängende Masse fließt
Beton beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	▪ siehe BTD-Kapitel 12.11
Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis 250 °C	▪ Eignung der Gesteinskörnungen für diese Beanspruchung ▪ Verwendung von Gesteinskörnungen mit niedriger Wärmedehnzahl α_t, z. B. Kalkstein, Hochofenschlacke, Basalt, Diabas, Blähton ▪ Nachbehandlung: mindestens 7 d feucht halten, danach langsame und möglichst tiefe (nicht nur an der Oberfläche) Austrocknung vor Inbetriebnahme ▪ weitere Informationen siehe DAfStb-Heft 337: „Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen“
Hochfester Beton	▪ siehe BTD-Kapitel 12.2
Frühhochfester Beton	▪ Beton mit hohen Frühfestigkeiten (nach ca. 12 - 18 Stunden) ▪ Abhebefestigkeiten in Fertigteilwerken: ≥ 12 bis 15 N/mm² ▪ Zement der Festigkeitsklasse 42,5 R bis 52,5 R nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12 oder FE-Zemente nach DIN 1164-11 ▪ niedriger w/z-Wert ($w/z \leq 0{,}45$) ▪ Einsatz hochwirksamer Fließmittel (ohne verzögernde Wirkung) ▪ Wärmebehandlung des Betons in der Schalung bzw. in Härtekammern erhöht Frühfestigkeiten zusätzlich, jedoch i. d. R. geringere Nacherhärtung und geringere Endfestigkeiten
Zementmörtel für Fugen [2)] nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 (bei Fertigteilen und Zwischenbauteilen bis C50/60)	▪ Zement der Festigkeitsklasse 32,5 R oder höher nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12 und FE-Zemente nach DIN 1164-11, soweit für die jeweilige Expositionsklasse zulässig ▪ Mindestzementgehalt: 400 kg/m³ ▪ Gesteinskörnung gemischtkörnig, sauber, bis 4 mm nach DIN EN 12620 oder DIN EN 13055-1

[1)] Falls Grenzwerte aus den Expositionsklassen niedriger sind, werden diese maßgebend.
[2)] DAfStb-Richtlinien „Herstellung und Verwendung von Fugenbeton u. -mörtel“ sowie „Herstellung und Verwendung von Trockenbeton u. -mörtel“ beachten.

6.4 Festlegung von Beton

6.4.1 Allgemeines

Der Verfasser der Festlegung (Leistungsbeschreibung) muss sicherstellen, dass alle relevanten Anforderungen für die Betoneigenschaften in der dem Hersteller zu übergebenden Festlegung enthalten sind.

Er muss auch alle Anforderungen an die Betoneigenschaften festlegen, die für die Förderung, das Einbringen, die Verdichtung, die Nachbehandlung oder weitere Behandlungen erforderlich sind.

In besonderen Fällen (z. B. Sichtbeton, hochfester Beton, LP-Beton) sollten zusätzliche Angaben über die Betonzusammensetzung sowie Anforderungen an die Betonausgangsstoffe (z. B. Art und Herkunft) zwischen Hersteller, Verwender und Verfasser der Leistungsbeschreibung vereinbart werden.

Beton ist entweder als Beton nach Eigenschaften oder als Beton nach Zusammensetzung festzulegen.

Ferner gibt es die Möglichkeit einer Festlegung als Standardbeton. In DIN EN 206-1/DIN 1045-2 sind für Standardbeton Anforderungen an die Betonzusammensetzung festgelegt. Eine Erstprüfung durch den Hersteller ist in diesem Fall nicht erforderlich.

Tabelle 6.4.1.a: Übersicht der Verantwortlichkeiten

	Beton nach Eigenschaften	Beton nach Zusammensetzung
Verfasser der Festlegung	■ Festlegung der Eigenschaften	■ Festlegung der Eigenschaften ■ Erstprüfung [1)] ■ Festlegung der Zusammensetzung
Hersteller	■ Erstprüfung [1)] ■ Festlegung der Zusammensetzung ■ Betonherstellung ■ Konformitätsprüfung [2)]	■ Betonherstellung ■ Konformitätsprüfung [2)]
Verwender	■ Annahmeprüfung [3)]	■ Annahmeprüfung [3)] ■ Konformitätsprüfung [2)]

1) Siehe BTD-Kapitel 8 „Produktionskontrolle“.
2) Siehe BTD-Kapitel 7 „Konformitätskontrolle“.
3) Siehe BTD-Kapitel 10 „Bauausführung“.

6.4.2 Festlegung von Beton nach Eigenschaften

Bei Beton nach Eigenschaften müssen die grundlegenden Anforderungen und, falls erforderlich, auch zusätzliche Anforderungen nach Tabelle 6.4.2.a dem Hersteller gegenüber festgelegt werden.

Der Hersteller entwirft den Beton und ist dafür verantwortlich, dass der bereitgestellte Beton die geforderten Eigenschaften hat und die entsprechenden Anforderungen erfüllt.

Tabelle 6.4.2.a: Festlegungen für Beton nach Eigenschaften

Grundlegende Festlegungen	Zusätzliche Festlegungen
■ Übereinstimmung mit DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ■ Expositionsklassen und Feuchtigkeitsklasse ■ Druckfestigkeitsklasse (ggf. von 28 Tagen abweichendes Prüfalter) ■ Konsistenzklasse oder Zielwert der Konsistenz ■ Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung ■ Klasse des Chloridgehalts oder Art der Verwendung des Betons (unbewehrter Beton, Stahlbeton, Spannbeton) ■ Rohdichteklasse oder Zielwert der Rohdichte (Leichtbeton) ■ Zielwert der Rohdichte (Schwerbeton)	■ besondere Arten oder Klassen von Zement (z. B. LH, SR, etc.) ■ besondere Arten oder Klassen von Gesteinskörnungen ■ Luftgehalt ■ Frischbetontemperatur ■ Festigkeitsentwicklung ■ Wärmeentwicklung während der Hydratation ■ verzögertes Ansteifen ■ Wassereindringwiderstand ■ Abriebwiderstand ■ Spaltzugfestigkeit ■ andere technische Anforderungen

6.4.3 Festlegung von Beton nach Zusammensetzung

Für Beton nach Zusammensetzung werden die Betonzusammensetzung und die Ausgangsstoffe, die zum Einsatz kommen sollen, dem Hersteller gegenüber festgelegt. Die entsprechenden Anforderungen sind in Tabelle 6.4.3.a dargestellt. Der Hersteller ist für die Bereitstellung des Betons mit vorgegebener Zusammensetzung verantwortlich, jedoch nicht für die Eigenschaften des Betons.

Tabelle 6.4.3.a: Festlegungen für Beton nach Zusammensetzung

Grundlegende Festlegungen	Zusätzliche Festlegungen
■ Übereinstimmung mit DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ■ Zementart und Festigkeitsklasse ■ Zementgehalt ■ w/z-Wert oder Konsistenzklasse ■ Gesteinskörnung: Art, Kategorie, max. Chloridgehalt ■ Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung, ggf. Sieblinie ■ Zusatzmittel, Zusatzstoffe und Fasern: Art, Menge und Herkunft	■ Herkunft aller Ausgangsstoffe ■ zusätzliche Anforderungen an die Gesteinskörnungen ■ Frischbetontemperatur ■ andere technische Anforderungen

6.4.4 Festlegung von Standardbeton

Für Standardbeton werden durch DIN EN 206-1/DIN 1045-2 exakte Vorgaben für den Anwendungsbereich, die Betonzusammensetzung und die Festlegung gegeben (siehe Tabellen 6.4.4.a und 6.4.4.b).

Tabelle 6.4.4.a: Anforderungen an Standardbeton

Anforderungen	Beschränkungen
▪ Normalbeton (bewehrt, unbewehrt) ▪ Expositionsklasse (nur X0, XC1, XC2) ▪ Feuchtigkeitsklasse ▪ Konsistenzbezeichnung ▪ Druckfestigkeitsklasse ≤ C16/20 ▪ Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung ▪ Festigkeitsentwicklung, falls erforderlich	▪ natürliche Gesteinskörnungen ▪ keine Zusatzmittel ▪ keine Zusatzstoffe ▪ Mindestzementgehalt nach Tabelle 6.4.4.b ▪ Zementart nach Tabelle 6.3.3.a bis 6.3.3.c

Tabelle 6.4.4.b: Mindestzementgehalt für Standardbeton mit Größtkorn 32 mm und Zement der Festigkeitsklasse 32,5 nach DIN EN 197-1

Druckfestigkeitsklasse	Mindestzementgehalt [kg/m³] für Konsistenzbezeichnung		
	steif	plastisch	weich
C8/10	210	230	260
C12/15	270	300	330
C16/20	290	320	360

- Der Zementgehalt muss vergrößert werden um
  - 10 % bei Größtkorn der Gesteinskörnung von 16 mm,
  - 20 % bei Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm.
- Der Zementgehalt darf verringert werden um
  - maximal 10 % bei Zement der Festigkeitsklasse 42,5,
  - maximal 10 % bei Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm.

7 Konformitätskontrolle nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2

Zur Qualitätsüberwachung von Beton in einem Herstellwerk gehören:

- Konformitäts- und Produktionskontrolle des Betonherstellers (Eigenüberwachung)
- Überwachung der Produktionskontrolle durch eine anerkannte Überwachungsstelle (Fremdüberwachung)
- Zertifizierung der Konformität durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle

Im Rahmen der Konformitätskontrolle wird geprüft, ob der Beton den festgelegten Anforderungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 entspricht. Die Konformitätskontrolle ist Teil der werkseigenen Produktionskontrolle (siehe BTD-Kapitel 8).

Die Konformitätskontrolle unterscheidet zwischen Beton nach Eigenschaften, Beton nach Zusammensetzung bzw. Standardbeton. Je nach Betonart sind unterschiedliche Konformitätsnachweise zu führen.

Für Beton nach Eigenschaften ist die Konformitätskontrolle vom Betonhersteller durchzuführen. Für Beton nach Zusammensetzung wird gemäß DIN EN 13670/DIN 1045-3 der Konformitätsnachweis vom Verwender des Betons geführt; der Hersteller weist lediglich die Zusammensetzung des Betons nach.

Die Konformität wird anhand von festgelegten Konformitätskriterien beurteilt. Nichtkonformität kann zu weiteren Maßnahmen im Herstellwerk oder auf der Baustelle führen.

Der Konformitätsnachweis kann für folgende Eigenschaften geführt werden:

- Druckfestigkeit
- Spaltzugfestigkeit
- Rohdichte von Schwerbeton und Leichtbeton
- Wasserzementwert
- Zementgehalt
- Luftgehalt von LP-Beton
- Chloridgehalt von Beton
- Konsistenz

7.1 Begriffe

Konformität, Beurteilung der Konformität
Systematische Überprüfung, in welchem Umfang ein Produkt festgelegte Anforderungen erfüllt.

Erstherstellung
Die Erstherstellung beinhaltet die Herstellung bis zum Erreichen von mindestens 35 Prüfergebnissen.

Stetige Herstellung
Die stetige Herstellung ist erreicht, wenn innerhalb eines Zeitraums von nicht mehr als 12 Monaten mindestens 35 Prüfergebnisse erhalten wurden.

Betonfamilie
Eine Gruppe von Betonzusammensetzungen, für die ein verlässlicher Zusammenhang zwischen maßgebenden Eigenschaften festgelegt und dokumentiert ist (Voraussetzungen für die Familienbildung siehe BTD-Kapitel 7.2.4).

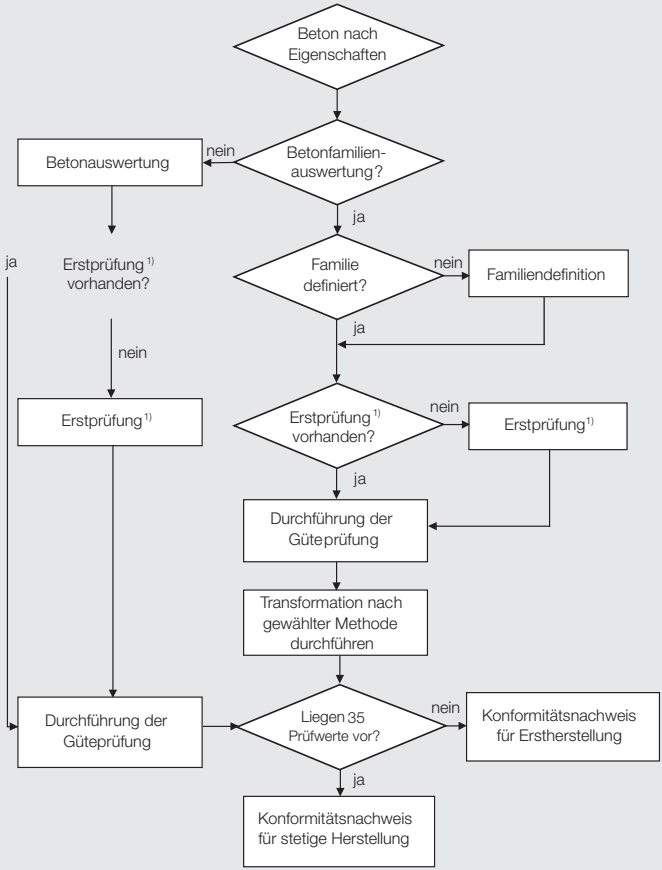
Identitätsprüfung
Prüfung, um zu bestimmen, ob eine gewählte Charge und Ladung einer konformen Gesamtmenge entstammen.

7.2 Konformitätskontrolle für Beton nach Eigenschaften für die Druckfestigkeit

Der Nachweiszeitraum muss innerhalb der letzten 12 Monate liegen. Die Druckfestigkeitsprüfung erfolgt i.d.R. im Prüfalter von 28 Tagen. Wenn erforderlich, ist die Festlegung früherer oder späterer Prüfalter möglich, z. B. für Beton für massige Bauteile (siehe BTD-Kapitel 12.3).

Die Durchführung der Konformitätskontrolle ist im nachfolgenden Flussdiagramm schematisch dargestellt.

Abbildung 7.2.a: Ablaufschema für die Konformitätskontrolle der Druckfestigkeit



1) Siehe BTD-Kapitel 8.1

7.2.1 Verfahren der Konformitätskontrolle

Nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 kann der Konformitätsnachweis an einzelnen Betonen oder an Betonfamilien durchgeführt werden.

Der Nachweis wird entweder für die Erstherstellung (Zahl der Prüfergebnisse < 35 innerhalb der letzten 12 Monate) oder die stetige Herstellung (Zahl der Prüfergebnisse ≥ 35 innerhalb der letzten 12 Monate) geführt.

Wenn die Herstellung eines einzelnen Betons oder einer Betonfamilie um mehr als 6 Monate unterbrochen wurde, müssen die Kriterien sowie der Probenahme- und Prüfplan für die Erstherstellung angewendet werden.

Tabelle 7.2.1.a: Verfahren der Konformitätskontrolle und zugehörige Nachweiskriterien

Konformitätskontrolle	Erstherstellung (Prüfergebnisse n < 35) oder stetige Herstellung (Prüfergebnisse n ≥ 35)
Auswertung über einen Beton	Einzelwerte des Betons (Kriterium 2)
	Mittelwert des Betons (Kriterium 1)
Auswertung über eine Betonfamilie	Einzelwerte der Betone (ohne Transformation) (Kriterium 2)
	Mittelwerte eines jeden Betons in der Betonfamilie (ohne Transformation) (Kriterium 3)
	Mittelwert der Betonfamilie (mit Transformation) (Kriterium 1)

7.2.2 Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit

Die Norm legt drei Kriterien für den Nachweis der Konformität fest:

Kriterium 1: Mittelwert Beton oder Betonfamilie

Kriterium 2: Einzelwerte Beton oder Betonfamilie

Kriterium 3: Mittelwert eines jeden Betons in einer Betonfamilie (Nachweis der Zugehörigkeit zur Betonfamilie)

Tabelle 7.2.2.a: Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit

Herstellung	Anzahl „n“ der Ergebnisse in der Reihe	Kriterium 1	Kriterium 2
		Mittelwert f_{cm} [N/mm²] von „n“ Ergebnissen	Jedes einzelne Prüfergebnis f_{ci} [N/mm²]
Erstherstellung (Prüfergebnisse n < 35)	3	≥ f_{ck} + 4 hochfester Beton: ≥ f_{ck} + 5	≥ f_{ck} – 4 hochfester Beton: ≥ f_{ck} – 5
stetige Herstellung (Prüfergebnisse n ≥ 35)	mindestens 15	≥ f_{ck} + 1,48 · σ mit σ ≥ 3 N/mm² 1) hochfester Beton: ≥ f_{ck} + 1,48 · σ mit σ ≥ 5 N/mm² 1)	≥ f_{ck} – 4 hochfester Beton: ≥ 0,9 · f_{ck}

1) Zu Beginn ist die Standardabweichung σ aus ≥ 35 aufeinanderfolgenden Prüfergebnissen zu bilden; diese müssen in einem Zeitraum von mindestens 3 Monaten und unmittelbar vor dem Zeitraum, innerhalb dessen die Konformität nachzuprüfen ist, ermittelt worden sein.

Tabelle 7.2.2.b: Bestätigungskriterium für einen Beton in einer Betonfamilie

Anzahl „n“ der Prüfwerte für die Druckfestigkeit jedes Betons der Betonfamilie	Kriterium 3
	Mittelwert f_{cm} [N/mm²] von „n“ Prüfergebnissen für jeden Beton der Betonfamilie
2	≥ f_{ck} – 1
3	≥ f_{ck} + 1
4	≥ f_{ck} + 2
5	≥ f_{ck} + 2,5
6 – 14	≥ f_{ck} + 3,0
≥ 15	≥ f_{ck} + 1,48 · σ

Der Nachweis für einen Beton erfolgt nach den Kriterien 1 und 2. Bei der Konformitätskontrolle über Betonfamilien ist zusätzlich das Kriterium 3 zu beachten (siehe BTD-Kapitel 7.2.4).

Der Nachweis der Konformität darf auch an überlappenden Prüfergebnissen erfolgen. Beim Nachweis an überlappenden Ergebnissen ist dies vor Produktionsbeginn zu entscheiden und unter Angabe der Überlappungsintervalle der Überwachungsstelle mitzuteilen.

Grundsätzlich gilt:

- Die Überprüfung von Kriterium 1 ist bei Erstherstellung und stetiger Herstellung eines Betons oder einer Betonfamilie immer durchzuführen. Der Nachweis des Kriteriums 1 für Betonfamilien erfolgt nach Transformation der Druckfestigkeiten (siehe BTD-Kapitel 7.2.4.1).
- Die Überprüfung von Kriterium 2 ist bei Erstherstellung und stetiger Herstellung eines Betons oder einer Betonfamilie immer durchzuführen. Der Nachweis für jeden Einzelwert erfolgt bei der Betonfamilie ohne Transformation der Druckfestigkeit.
- Kriterium 3 wird nur für Betonfamilien nachgewiesen und erfolgt für jeden Beton der Familie als Mittelwertnachweis ohne Transformation. Kriterium 3 ist ein Bestätigungskriterium dafür, ob der jeweilige Beton berechtigt ist, in der Betonfamilie zu bleiben. Wird Kriterium 3 nicht erfüllt, ist dieser Beton aus der Betonfamilie zu entfernen und seine Konformität gesondert nachzuweisen. Kriterium 3 ist für die Erstherstellung und stetige Herstellung gleich.

7.2.3 Probenahme- und Prüfplan

Die Mindesthäufigkeit der Probenahme zur Beurteilung der Konformität ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 7.2.3.a: Mindesthäufigkeit der Probenahme

Herstellung	Mindestanzahl bzw. -häufigkeit der Probenahme	
	≤ 50 m³	> 50 m³ [1]
Erstherstellung (Prüfergebnisse n < 35)	3 Proben	1 pro 200 m³ 2 pro Produktionswoche Leichtbeton und hochfester Beton: 1 pro 100 m³ 1 pro Produktionstag
stetige Herstellung (Prüfergebnisse n ≥ 35) [2]	–	1 pro 400 m³ 1 pro Produktionswoche Leichtbeton und hochfester Beton: 1 pro 200 m³ 1 pro Produktionswoche

[1] Die Probenahme muss über die Herstellung verteilt sein; je 25 m³ sollte höchstens eine Probe genommen werden.

[2] Überschreitet die Standardabweichung der letzten 15 Prüfergebnisse 1,37 · σ, ist für die nächsten 35 Prüfergebnisse die Probenahmehäufigkeit der Erstherstellung anzuwenden.

7.2.4 Konformitätsnachweis über Betonfamilien

Unter folgenden Bedingungen dürfen Betone zu Betonfamilien zusammengefasst werden:

- Zement gleicher Art, Festigkeitsklasse und Herkunft
- Gesteinskörnungen gleicher geologischer Herkunft und Art
- Nachweisbar ähnliche Zusatzstoffe des Typs I
- Betone mit oder ohne wasserreduzierende/verflüssigende Zusatzmittel
- Gesamter Bereich der Konsistenzklassen
- Betone mit einem begrenzten Bereich von Festigkeitsklassen (für C8/10 bis C50/60 bzw. LC8/9 bis LC50/55 sind jeweils mindestens 2 separate Betonfamilien erforderlich).
- Das Konzept ist nicht auf hochfesten Beton anwendbar.

Separate Betonfamilien sind notwendig bei:

- Betonen mit Betonzusatzstoffen des Typs II.
- Betonen mit Betonzusatzmitteln, die Auswirkung auf die Druckfestigkeit haben, z. B. hochwirksame wasserreduzierende/verflüssigende Zusatzmittel, Beschleuniger, Verzögerer, Luftporenbildner.

7.2.4.1 Transformation der Druckfestigkeiten

Beim Nachweis über Betonfamilien (Kriterium 1) werden die Druckfestigkeitsergebnisse auf einen Referenzbeton umgerechnet (transformiert).

Die Umrechnung der Druckfestigkeiten erfolgt mittels der vom Eigenüberwacher festzulegenden Transformationsmethode. Beispiele für Transformationsmethoden sind:

- Druckfestigkeitsfaktor
- Druckfestigkeitsdifferenz

Als Referenzbeton ist auszuwählen:

- der am häufigsten hergestellte Beton oder
- ein Beton aus dem Mittelfeld der Betonfamilie.

Ein Beispiel für die Auswahl eines Referenzbetons innerhalb einer Betonfamilie ist in Tabelle 7.2.4.1.a dargestellt.

Tabelle 7.2.4.1.a: Festlegung eines Referenzbetons

Herstellungsvolumen [m³]				
Monat		April	Mai	Juni
Beton Nr. K	Druckfestigkeitsklasse	[m³]	[m³]	[m³]
101	C12/15	200	280	304
102	C20/25	210	305	321
103	C20/25	840	1220	1430
104	C30/37	51	80	95
105	C30/37	206	350	370
106	C20/25	130	153	163
107	C20/25	530	615	638

← ausgewählter Referenzbeton

Für die Ermittlung der Druckfestigkeitsfaktoren oder -differenzen ist zunächst für jeden in der Betonfamilie erfassten Beton (Betonsorte) eine Zielfestigkeit festzulegen:

- Bei einem neuen Beton: Mittelwert aus den Prüfergebnissen der Erstprüfung oder Interpolation/Extrapolation von Erfahrungswerten ähnlicher Betone.
- Bei vorhandenen Betonen: Mittelwert aus Prüfergebnissen der unmittelbaren Vergangenheit.

Die Zielfestigkeiten sind in regelmäßigen Abständen zu überprüfen.

Anwendung der genannten Transformationsmethoden:

- Transformation über Druckfestigkeitsfaktor

  (1) Ermittlung der Druckfestigkeitsfaktoren:

  $$\text{Faktor}_{(\text{Beton K})} = \text{Zielfestigkeit}_{(\text{Referenzbeton})} / \text{Zielfestigkeit}_{(\text{Beton K})}$$

  (2) Transformation der Einzelwerte f_{ci}:

  $$f_{ci,trans} = f_{ci\ (\text{Beton K})} \cdot \text{Faktor}_{(\text{Beton K})}$$

- Transformation über Druckfestigkeitsdifferenz

  (1) Ermittlung der Druckfestigkeitsdifferenzen:

  $$\text{Differenz}_{(\text{Beton K})} = \text{Zielfestigkeit}_{(\text{Referenzbeton})} - \text{Zielfestigkeit}_{(\text{Beton K})}$$

  (2) Transformation der Einzelwerte f_{ci}:

  $$f_{ci,trans} = f_{ci\ (\text{Beton K})} + \text{Differenz}_{(\text{Beton K})}$$

Die Anwendung der Transformationsmethoden „Druckfestigkeitsfaktor“ und „Druckfestigkeitsdifferenz“ ist beispielhaft in den nachfolgenden Tabellen durchgeführt.

Tabelle 7.2.4.1.b: Berechnung von Druckfestigkeitsfaktor und -differenz

Beton Nr. K	Festigkeitsklasse	Zielfestigkeit [N/mm²]	Druckfestigkeitsfaktor	Druckfestigkeitsdifferenz	
			Faktor [-] (Beton Nr. K)	Differenz [N/mm²] (Beton Nr. K)	
101	C12/15	24	1,33	8	
102	C20/25	31	1,03	1	
103	C20/25	32	1,00	0	← ausgewählter Referenzbeton
104	C30/37	44	0,73	-12	
105	C30/37	44	0,73	-12	
106	C20/25	38	0,84	-6	
107	C20/25	35	0,91	-3	

Tabelle 7.2.4.1.c: Transformation der Druckfestigkeit

Nr. i	Datum	Beton Nr. K	Festigkeitsklasse	f_{ci} [N/mm²]	Druckfestigkeitsfaktor		Druckfestigkeitsdifferenz	
					Faktor (Beton Nr. K)	$f_{ci,trans}$ [N/mm²]	Differenz (Beton Nr. K)	$f_{ci,trans}$ [N/mm²]
1	03. Apr	101	C12/15	23	1,33	31	8	31
2	09. Apr	103	C20/25	30	1,00	30	0	30
3	14. Apr	102	C20/25	36	1,03	37	1	37
4	25. Apr	103	C20/25	32	1,00	32	0	32
5	02. Mai	103	C20/25	35	1,00	35	0	35
6	07. Mai	101	C12/15	25	1,33	33	8	33
7	21. Mai	102	C20/25	28	1,03	29	1	29
8	27. Mai	103	C20/25	31	1,00	31	0	31
9	29. Mai	104	C30/37	39	0,73	28	-12	27

7.2.4.2 Vorgehensweise für den Konformitätsnachweis über Betonfamilien

- Festlegung eines Referenzbetons
- Ermittlung der Zielfestigkeiten der Betone der Betonfamilie
- Festlegung der Transformationsmethode
- Konformitätsnachweis über Konformitätskriterien

Die Festlegung von Referenzbeton, Zielfestigkeiten und der Transformationsmethode ist in BTD-Kapitel 7.2.4.1 beschrieben.

Der Nachweis der Konformität erfolgt über die Kriterien 1, 2 und 3 (siehe Tabellen 7.2.2.a und b). Die praktische Handhabung erfolgt in der Reihenfolge 2-3-1:

- Kriterium 2 (Einzelwert, ohne Transformation): Jeder einzelne Prüfwert f_{ci} muss Kriterium 2 erfüllen.
- Kriterium 3 (Mittelwert, ohne Transformation): Die Mittelwerte f_{cm} jedes Betons der Betonfamilie müssen Kriterium 3 erfüllen.
- Kriterium 1 (Mittelwert, mit Transformation): Die Mittelwerte ($n = 3$ bei Erstherstellung bzw. $n \geq 15$ bei stetiger Herstellung) der transformierten Prüfwerte $f_{ci,trans}$ müssen Kriterium 1 erfüllen. Für die Berechnung des Grenzwertes für Kriterium 1 (siehe Tabelle 7.2.2.a) wird die charakteristische Festigkeit f_{ck} des Referenzbetons zugrunde gelegt.

7.2.5 Beispiele für die Durchführung des Konformitätsnachweises

7.2.5.1 Nachweis für einen Beton – Erstherstellung

Der Nachweis ist für die Kriterien 2 und 1 zu führen.

Tabelle 7.2.5.1.a: Nachweis Kriterium 2 (Einzelwertkriterium) für Beton C20/25 (Beton Nr. 103)

Nr. i [1)]	Datum	Beton Nr. K	Festigkeits-klasse	Kriterium 2 (Einzelwerte)		
				f_{ci} [N/mm²]	f_{ck} - 4 [N/mm²]	erfüllt
1	09. Apr	103	C20/25	30	21	ja
2	25. Apr			32		ja
3	02. Mai			35		ja
4	27. Mai			31		ja
5	31. Mai			33		ja
6	04. Jun			36		ja

[1)] Bei der Erstherstellung wird der Konformitätsnachweis in einer Reihe von 3 Prüfergebnissen geführt; für dieses Beispiel:
Konformitätsnachweis 1: Ergebnisse Nr. 1 bis 3
Konformitätsnachweis 2: Ergebnisse Nr. 4 bis 6

Tabelle 7.2.5.1.b: Nachweis Kriterium 1 (Mittelwertkriterium) für Beton C20/25 (Beton Nr. 103)

Nr. i [1)]	Datum	Beton Nr. K	Festigkeits-klasse	Kriterium 1 (Mittelwerte)			
				f_{ci} [N/mm²]	f_{cm} [N/mm²]	f_{ck} + 4 [N/mm²]	erfüllt
1	09. Apr	103	C20/25	30	32	29	ja
2	25. Apr			32			
3	02. Mai			35			
4	27. Mai			31	33		ja
5	31. Mai			33			
6	04. Jun			36			

[1)] Bei der Erstherstellung wird der Konformitätsnachweis in einer Reihe von 3 Prüfergebnissen geführt; für dieses Beispiel:
Konformitätsnachweis 1: Ergebnisse Nr. 1 bis 3
Konformitätsnachweis 2: Ergebnisse Nr. 4 bis 6

7.2.5.2 Nachweis für einen Beton – stetige Herstellung

Der Nachweis ist für die Kriterien 2 und 1 zu führen.

Tabelle 7.2.5.2.a: Nachweis Kriterium 2 (Einzelwertkriterium) für Beton C20/25 (Beton Nr. 103)

Nr. i	Datum	Beton Nr. K	Festigkeits-klasse	Kriterium 2 (Einzelwerte)		
				f_{ci} [N/mm²]	f_{ck} - 4 [N/mm²]	erfüllt
1	09. Apr	103	C20/25	30	21	ja
2	25. Apr			32		ja
3	02. Mai			35		ja
4	27. Mai			31		ja
5	31. Mai			33		ja
6	04. Jun			36		ja
7	09. Jun			29		ja
8	11. Jun			34		ja
9	17. Jun			35		ja
10	02. Jul			32		ja
11	05. Jul			36		ja
12	13. Jul			31		ja
13	16. Jul			30		ja
14	25. Jul			35		ja
15	30. Jul			33		ja

Tabelle 7.2.5.2.b: Nachweis Kriterium 1 (Mittelwertkriterium) für Beton C20/25 (Beton Nr. 103)

Nr. i	Datum	Beton Nr. K	Festigkeits-klasse	Kriterium 1 (Mittelwerte)			
				f_{ci} [N/mm²]	f_{cm} [N/mm²]	$f_{ck} + 1{,}48\ \sigma$ [1)] [N/mm²]	erfüllt
1	09. Apr	103	C20/25	30	33	29	ja
2	25. Apr			32			
3	02. Mai			35			
4	27. Mai			31			
5	31. Mai			33			
6	04. Jun			36			
7	09. Jun			29			
8	11. Jun			34			
9	17. Jun			35			
10	02. Jul			32			
11	05. Jul			36			
12	13. Jul			31			
13	16. Jul			30			
14	25. Jul			35			
15	30. Jul			33			

1) $\sigma = 3$ N/mm²

7.2.5.3 Nachweis für eine Betonfamilie – Erstherstellung

Der Nachweis ist für die Kriterien 2, 3 und 1 zu führen.

Vorgehen:

- Festlegung eines Referenzbetons: siehe Tabelle 7.2.4.1.a
- Ermittlung der Zielfestigkeiten der Betone der Betonfamilie: siehe Tabelle 7.2.4.1.b
- Festlegung der Transformationsmethode: Druckfestigkeitsdifferenz (siehe Tabelle 7.2.4.1.b)
- Konformitätsnachweis über Konformitätskriterien

Tabelle 7.2.5.3.a: Nachweis Kriterium 2 (Einzelwertkriterium) für die Betone der Betonfamilie

Nr. i [1]	Datum	Beton Nr. K	Festigkeitsklasse	Kriterium 2 (Einzelwerte) [2]		
				f_{ci} [N/mm²]	$f_{ck} - 4$ [N/mm²]	erfüllt
1	03. Apr	101	C12/15	23	11	ja
2	09. Apr	103	C20/25	30	21	ja
3	14. Apr	102	C20/25	36	21	ja
4	25. Apr	103	C20/25	32	21	ja
5	02. Mai	103	C20/25	35	21	ja
6	29. Mai	104	C30/37	39	33	ja

[1] Bei der Erstherstellung wird der Konformitätsnachweis in einer Reihe von 3 Prüfergebnissen geführt; für dieses Beispiel:
Konformitätsnachweis 1: Ergebnisse Nr. 1 bis 3
Konformitätsnachweis 2: Ergebnisse Nr. 4 bis 6

[2] Es erfolgt keine Transformation der Werte.

Tabelle 7.2.5.3.b: Nachweis Kriterium 3 (Mittelwertkriterium) für die Betone der Betonfamilie

Nr. i [1]	Datum	Beton Nr. K	Festigkeitsklasse	f_{ci} [N/mm²]	Kriterium 3 [2]			
					n [3]	f_{cm} Beton Nr. K [N/mm²]	Kriterium 3 [N/mm²]	erfüllt
1	03. Apr	101	C12/15	23	1	Einzelwert		
2	09. Apr	103	C20/25	30	1			
3	14. Apr	102	C20/25	36	1			
4	25. Apr	103	C20/25	32	2	34	24	ja
5	02. Mai	103	C20/25	35				
6	29. Mai	104	C30/37	39	1	Einzelwert		

[1] Bei der Erstherstellung wird der Konformitätsnachweis in einer Reihe von 3 Prüfergebnissen geführt; für dieses Beispiel:
Konformitätsnachweis 1: Ergebnisse Nr. 1 bis 3
Konformitätsnachweis 2: Ergebnisse Nr. 4 bis 6

[2] Es erfolgt keine Transformation der Werte.

[3] Kumulierte Anzahl „n“ der Prüfwerte für die Druckfestigkeit jedes Betons der Betonfamilie.

Tabelle 7.2.5.3.c: Nachweis Kriterium 1 (Mittelwertkriterium) mit Transformation; Transformationsmethode: Druckfestigkeitsdifferenz

Nr. i [1]	Datum	Beton Nr. K	Festigkeitsklasse	f_{ci} [N/mm²]	Kriterium 1				
					Differenz Beton-Nr. K [2]	$f_{ci,trans}$ [N/mm²]	f_{cm} [N/mm²]	$f_{ck}+4$ [N/mm²]	erfüllt
1	03. Apr	101	C12/15	23	8	31	33	29	ja
2	09. Apr	103	C20/25	30	0	30			
3	14. Apr	102	C20/25	36	1	37			
4	25. Apr	103	C20/25	32	0	32	31		ja
5	02. Mai	103	C20/25	35	0	35			
6	29. Mai	104	C30/37	39	-12	27			

[1] Bei der Erstherstellung wird der Konformitätsnachweis in einer Reihe von 3 Prüfergebnissen geführt; für dieses Beispiel:
Konformitätsnachweis 1: Ergebnisse Nr. 1 bis 3
Konformitätsnachweis 2: Ergebnisse Nr. 4 bis 6

[2] Siehe Tabelle 7.2.4.1.b

7.2.5.4 Nachweis für eine Betonfamilie – stetige Herstellung

Der Nachweis ist für die Kriterien 2, 3 und 1 zu führen. Er erfolgt für Kriterium 2 analog zu Tabelle 7.2.5.3.a.

Tabelle 7.2.5.4.a: Nachweis Kriterium 3 (Mittelwertkriterium) für die Betone der Betonfamilie

Nr. i [1]	Datum	f_{ci} [1] des Betons Nr. K [N/mm²]						
		101	102	103	104	105	106	107
		C12/15	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C20/25	C20/25
1	03. Apr	23						
2	09. Apr			30				
3	14. Apr		36					
4	18. Apr							38
5	25. Apr			32				
6	30. Apr					43		
7	02. Mai			35				
8	07. Mai	25						
9	12. Mai							36
10	16. Mai						40	
11	21. Mai		28					
12	23. Mai				38			
13	27. Mai			31				
14	30. Mai					39		
15	03. Jun						36	
n [2]		2	2	4	1	2	2	2
f_{cm} [N/mm²]		24	32	32	–	41	38	37
Kriterium 3		≥ 14	≥ 24	≥ 27	–	≥ 36	≥ 24	≥ 24
Familien-zugehörigkeit		ja	ja	ja	–	ja	ja	ja

[1] Es erfolgt keine Transformation der Werte.
[2] Kumulierte Anzahl „n“ der Prüfwerte für die Druckfestigkeit jedes Betons der Betonfamilie.

Tabelle 7.2.5.4.b: Nachweis Kriterium 1 (Mittelwertkriterium) mit Transformation; Transformationsmethode: Druckfestigkeitsdifferenz

Nr. i	Datum	Beton Nr. K	Festigkeitsklasse	f_{ci} [N/mm²]	Kriterium 1				
					Differenz Beton Nr. K [1]	$f_{ci,trans}$ [N/mm²]	ermittelte Werte [N/mm²]	f_{ck} + 1,48 σ [N/mm²]	erfüllt
1	03. Apr	101	C12/15	23	8	31			
2	09. Apr	103	C20/25	30	0	30			
3	14. Apr	102	C20/25	36	1	37			
4	18. Apr	107	C20/25	38	-3	35			
5	25. Apr	103	C20/25	32	0	32			
6	30. Apr	105	C30/37	43	-12	31			
7	02. Mai	103	C20/25	35	0	35	f_{cm} = 32		
8	07. Mai	101	C12/15	25	8	33	σ = 3,12 [2]	29	ja
9	12. Mai	107	C20/25	36	-3	33			
10	16. Mai	106	C20/25	40	-6	34	s_{15} = 3,02 [3]		
11	21. Mai	102	C20/25	28	1	29			
12	23. Mai	104	C30/37	38	-12	26			
13	27. Mai	103	C20/25	31	0	31			
14	30. Mai	105	C30/37	39	-12	27			
15	03. Jun	106	C20/25	36	-6	30			

[1] Siehe Tabelle 7.2.4.1.b

[2] Standardabweichung σ aus ≥ 35 aufeinander folgenden Prüfergebnissen; σ muss ≥ 3 N/mm² sein.

[3] Verifizierung der Standardabweichung σ:
Bedingung: $0{,}63 \cdot \sigma \leq s_{15} \leq 1{,}37 \cdot \sigma$ mit s_{15} = Standardabweichung der 15 Prüfergebnissen des Konformitätsnachweises.

7.3 Konformitätskontrolle für Beton nach Zusammensetzung einschließlich Standardbeton

Für Beton nach Zusammensetzung einschließlich Standardbeton ist der Hersteller nur für die Einhaltung der Betonzusammensetzung verantwortlich. Diese ist i. d. R. nachzuweisen durch:

- Produktionsaufzeichnungen (Chargenprotokoll)
- Lieferscheine der Ausgangsstoffe

Zulässige Toleranzen der Betonzusammensetzung:

- alle Ausgangsstoffe: ± 3 % der festgelegten Menge
- w/z-Wert ≤ Sollwert + 0,02

8 Produktionskontrolle

Die Produktionskontrolle wird vom Betonhersteller durchgeführt und umfasst folgende Maßnahmen:

- Baustoffauswahl
- Betonentwurf
- Betonherstellung
- Überwachung sowie Prüfungen
- Verwendung der Prüfergebnisse im Hinblick auf Ausgangsstoffe, Frisch- und Festbeton und Einrichtungen
- falls zutreffend, Überprüfung der für den Transport des Frischbetons verwendeten Einrichtungen
- Konformitätskontrolle nach BTD-Kapitel 7

Alle maßgebenden Daten, Verantwortlichkeiten und Abläufe der Produktionskontrolle sind im Handbuch der Produktionskontrolle (WPK-Handbuch) aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungen sind i. d. R. mindestens fünf Jahre aufzubewahren.

Die Produktionskontrolle des Herstellers ist für alle nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 hergestellten Betone, ausgenommen Standardbeton, durch eine anerkannte Überwachungsstelle zu überwachen und zu bewerten sowie durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle zu zertifizieren.

8.1 Erstprüfung

Die Erstprüfung ist vor Verwendung eines neuen Betons oder einer neuen Betonfamilie durchzuführen. Es wird geprüft, mit welcher Zusammensetzung die festgelegten Anforderungen mit einem ausreichenden Vorhaltemaß im frischen und erhärteten Zustand erfüllt werden.

Bei wesentlichen Änderungen der Ausgangsstoffe oder Anforderungen ist die Erstprüfung zu wiederholen.

Auf die Erstprüfung kann u. a. verzichtet werden bei Betonen,

- deren Zusammensetzung aus Langzeiterfahrungen mit ähnlichen Betonen oder einer ähnlichen Betonfamilie abgeleitet wurde,
- die durch Interpolation bekannter Betonzusammensetzungen oder Extrapolation der Druckfestigkeiten um nicht mehr als 5 N/mm^2 gewonnen werden,
- die innerhalb der durch eine Erstprüfung abgedeckten oberen und unteren Grenzwerte der Variationsbereiche der Betonzusammensetzung nach BTD-Kapitel 8.2.2 liegen.

Verantwortlichkeiten für die Durchführung der Erstprüfung:

- Beton nach Eigenschaften: Hersteller
- Beton nach Zusammensetzung: Verfasser der Festlegung
- Standardbeton: Normungsorganisation

Bedingungen für die Durchführung der Erstprüfung:

- Frischbetontemperatur: i. d. R. 15 bis 22 °C
- Konsistenz: innerhalb der Grenzen der Konsistenzklasse zum voraussichtlichen Zeitpunkt des Betoneinbaus oder der Übergabe
- Probekörperzahl: mindestens 3 Probekörper aus jeweils 3 Chargen
- Betonfamilien: Geprüfte Betone müssen die Bandbreite der Zusammensetzung in der Betonfamilie abdecken. Die Anzahl der Chargen je Betonzusammensetzung darf auf eine vermindert werden.
- Druckfestigkeit: Vorhaltemaße ca. das Doppelte der erwarteten Standardabweichung, d. h. mindestens 6 bis 12 N/mm² (für Standardbeton: 12 N/mm²)

8.2 Herstellen des Betons

8.2.1 Mischen des Betons

Erforderliche Dosierungsgenauigkeit:

- Für alle Ausgangsstoffe: ± 3 %

Zusatzmittelzugabe:

- Zugabe während des Hauptmischganges im Herstellwerk
- Ausnahme: Fließmittel; diese dürfen auch nach dem Hauptmischgang zugegeben werden.

Empfohlene Mindestmischzeiten:

- Normalbeton: ≥ 30 s
- Leichtbeton: ≥ 90 s
- LP-Beton: ≥ 60 s nach Zugabe des LP-Bildners
- Fließmittelzugabe im Fahrmischer: ≥ 60 s/m³, mindestens 300 s

8.2.2 Variationsbereiche der Betonzusammensetzung

Für die Steuerung der Frisch- und Festbetoneigenschaften eines Betons darf die Betonzusammensetzung variiert werden:

- Zement: ± 15 kg/m³
- Flugasche: ± 15 kg/m³
- Zusatzmittel: 0 bis Höchstdosierung

9 Betontechnologie

9.1 Betonentwurf

9.1.1 Beispiele zur Anwendung der Expositions- und Feuchtigkeitsklassen

Die folgenden Abbildungen zeigen Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Die Expositionsklassen müssen vom Verfasser der Festlegung des Betons (z. B. Architekt, Planungsbüro, Ingenieurbüro) objektbezogen vorgegeben werden.

Abbildung 9.1.1.a: Betonbauteile im Wohnungsbau

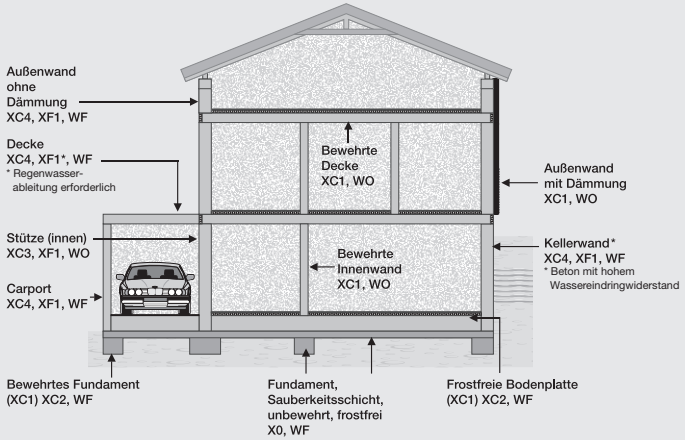
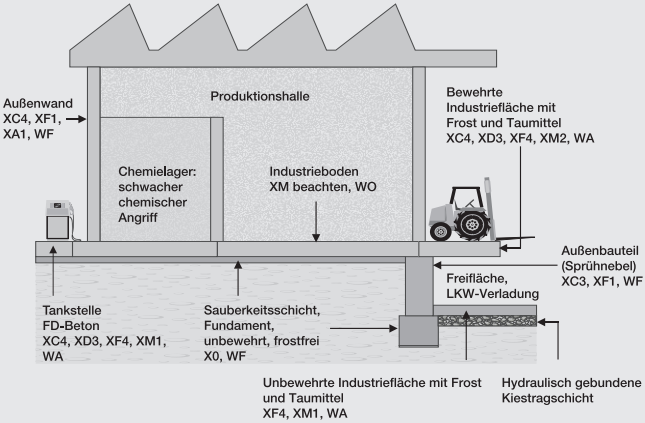
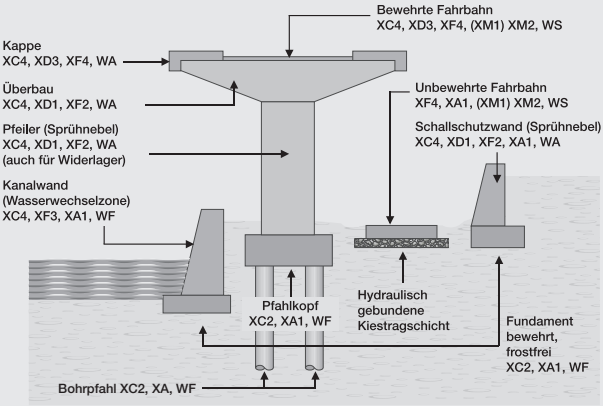


Abbildung 9.1.1.b: Betonbauteile im Industrie- und Verwaltungsbau



9

Abbildung 9.1.1.c: Betonbauteile im Ingenieurbau



Boden: chemisch schwach angreifend

9.1.2 Beispiele zur Festlegung der Grenzwerte für die Betonzusammensetzung

Im Anschluss an die Zuordnung der Expositionsklassen zu einem Bauteil (Beispiele siehe BTD-Kapitel 9.1.1) sind die jeweiligen Grenzwerte für die Betonzusammensetzung in Abhängigkeit von den zugeordneten Expositionsklassen zu ermitteln (siehe Tabellen 6.3.2.a bis f).

In Abhängigkeit von der Feuchtigkeitsklasse (siehe Alkali-Kieselsäure-Reaktion, BTD-Kapitel 6.2.1.8) sind gegebenenfalls vorbeugende Maßnahmen zu berücksichtigen.

Die schärfsten Einzelanforderungen bestimmen die Mindestanforderungen an den Beton eines Bauteils. Beispiele zeigen die Tabellen 9.1.2.a und 9.1.2.b. Die Mindestanforderungen an den Beton sind dort grau hinterlegt.

Tabelle 9.1.2.a: Beispiel 1: Stahlbeton – Außenbauteil

Expositionsklassen	XC4	XF1
maximaler w/z-Wert	0,60	0,60
Mindestdruckfestigkeitsklasse	C25/30	C25/30
Mindestzementgehalt [kg/m³]	280 (270) [1]	280 (270) [1]
Mindestluftgehalt [Vol.-%]	–	–
Gesteinskörnungen	Regelanforderungen und zusätzlich	
	–	F_4 [2]

[1] Wert in Klammern = Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen.
[2] Frostwiderstand der Gesteinskörnungen F_4: Abwitterung nach DIN EN 1367-1 ≤ 4 M.-%.

Tabelle 9.1.2.b: Beispiel 2: Offenes Parkdeck

Expositionsklassen	XC4	XD3	XF4	XM1
maximaler w/z-Wert	0,60	0,45	0,5 [3]	0,55
Mindestdruckfestigkeitsklasse	C25/30	C35/45 [2]	C30/37	C30/37 [2]
Mindestzementgehalt [kg/m³]	280 (270) [1]	320 (270) [1]	320 (270) [1] [3]	300 [6] (270) [1]
Mindestluftgehalt [Vol.-%]	–	–	[4]	–
Gesteinskörnungen	Regelanforderungen und zusätzlich			
	–	–	MS_{18} [5]	[7]

Fußnoten auf der nächsten Seite ▶

[1] Wert in Klammern = Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen.
[2] Bei Verwendung von Luftporenbeton eine Festigkeitsklasse niedriger.
[3] Die Anrechnung auf den Mindestzementgehalt und den Wasserzementwert ist nur bei Verwendung von Flugasche zulässig (siehe Tabelle 6.3.2.d).
[4] Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm ≥ 5,5 Vol.-%, 16 mm ≥ 4,5 Vol.-%, 32 mm ≥ 4,0 Vol.-% und 63 mm ≥ 3,5 Vol.-% betragen. Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten. Für Fließbeton ist der Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% zu erhöhen.
[5] Magnesiumsulfat-Widerstandsfähigkeit (Frost-Tausalz-Widerstand) MS_{18}: Masseverlust ≤ 18 M.-% nach DIN EN 1367-2
[6] Höchstzementgehalt 360 kg/m³, jedoch nicht bei hochfestem Beton.
[7] Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620. Die Körner aller Gesteinskörnungen sollen eine mäßig raue Oberfläche und gedrungene Gestalt haben. Das Gesteinskörnungsgemisch soll möglichst grobkörnig sein.

Für Parkdecks ist weiterhin zu beachten:

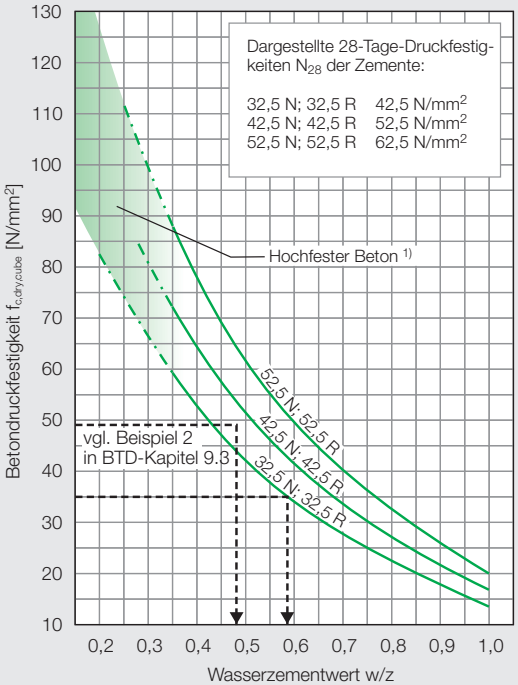
- Die Ausführung direkt befahrener Parkdecks ist nur mit zusätzlichen Maßnahmen (z. B. rissüberbrückende Beschichtung) zulässig (siehe DIN 1045-1 und DIN EN 206-1/DIN 1045-2).
- Falls die Beschichtungsmaßnahme so ausgeführt und instandgehalten wird, dass die Umwelteinflüsse dauerhaft vom Bauteil ferngehalten werden (projektbezogener Wartungsplan erforderlich), sind folgende Veränderungen in den Zuordnungen der Expositionsklassen nach DAfStb-Heft 525 „Erläuterungen zu DIN 1045-1“ zulässig:
  - XD3 → XD1 (bei Beschichtung)
  - XC4 → XC3 (bei Asphaltbelag mit darunterliegender Abdichtung)
  - XF4 → XF1 (bei Beschichtung oder Asphaltbelag)
- Bei kurzem Wartungsintervall (Überprüfung 2 x jährlich, vor und nach der Frostperiode) und durchgeführter Instandsetzung bei Schäden kann die Betondeckung der Klasse XD1 um 10 mm verringert werden.

9.2 Walz-Kurven

In den Walz-Kurven wird der Zusammenhang von Betondruckfestigkeit, Zementdruckfestigkeit und w/z-Wert dargestellt.

Den Walz-Kurven nach Abbildung 9.2.a kann entnommen werden, welcher w/z-Wert erforderlich ist, um die angestrebte Betondruckfestigkeit zu erreichen. Der Grenzwert für den w/z-Wert aus den Expositionsklassen (siehe Tabellen 6.3.2.a bis f) muss unabhängig davon eingehalten werden.

Abbildung 9.2.a: Betondruckfestigkeit $f_{c,dry,cube}$ in Abhängigkeit vom w/z-Wert und der Zementdruckfestigkeit



1) Bei hochfestem Beton verliert der Einfluss der Zementdruckfestigkeit an Bedeutung.

Beispiel:

Gegeben: CEM I 32,5 R mit N_{28} = 42,5 N/mm²

Gesucht: w/z-Wert für $f_{c,dry,cube}$ = 35 N/mm²

Lösung: w/z = 0,58

9.3 Stoffraumrechnung

Die Stoffraumrechnung ist die rechnerische Ermittlung der Zusammensetzung des Frischbetonvolumens (i. d. R. für 1 m³) aus dem Volumen der Ausgangsstoffe.

Grundlage ist die folgende Gleichung (ohne Berücksichtigung der Feuchte der Gesteinskörnungen):

$$1000 = \frac{z}{\rho_z} + \frac{f}{\rho_f} + \frac{w}{\rho_w} + \frac{g}{\rho_g} + p \qquad [dm^3/m^3]$$

z	-	Zementgehalt	[kg/m³]
f	-	Zusatzstoffgehalt von z. B. Flugasche, Silikastaub, Füller (Gesteinsmehl)	[kg/m³]
w	-	Wassergehalt	[kg/m³]
g	-	Gehalt an Gesteinskörnung	[kg/m³]
p	-	Porenvolumen	[dm³/m³]
ρ_z	-	Dichte des Zementes	[kg/dm³]
ρ_f	-	Dichte der Zusatzstoffe	[kg/dm³]
ρ_w	-	Dichte des Wassers	[kg/dm³]
ρ_g	-	Rohdichte der Gesteinskörnung	[kg/dm³]

Beispiel 1:

Gegeben:

- Zementgehalt z = 300 kg/m³ CEM I 42,5 R ρ_z = 3,1 kg/dm³
- Zusatzstoffgehalt f = 60 kg/m³ Flugasche ρ_f = 2,3 kg/dm³
- Wassergehalt w = 170 kg/m³ ρ_w = 1,0 kg/dm³
- Luftporen p = 1,5 Vol.-%
- Rohdichte der Gesteinskörnung ρ_g = 2,6 kg/dm³

Gesucht:

Gehalt an Gesteinskörnung g in [kg/m³]

Lösung:

$$1000 = \frac{300}{3{,}1} + \frac{60}{2{,}3} + \frac{170}{1{,}0} + \frac{g}{2{,}6} + 15$$

$$g = \left(1000 - \frac{300}{3{,}1} - \frac{60}{2{,}3} - \frac{170}{1{,}0} - 15\right) \cdot 2{,}6 = 1800 \text{ kg/m}^3$$

Beispiel 2:

Gegeben:

- Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2
- Art des Betons: Stahlbeton/Außenbauteil
- Druckfestigkeitsklasse: C30/37
- Konsistenzklasse: F2
- Gesteinskörnung: D_{max} = 16 mm, ρ_g = 2,6 kg/dm³
- Sieblinie: A/B16
- Zement: CEM II/A-LL 32,5 R, ρ_z = 3,05 kg/dm³, (N_{28} = 47,5 N/mm²)
- Mindestanforderungen für Stahlbeton Außenbauteil, Expositionsklassen XC4/XF1 (siehe Beispiel Tabelle 9.1.2.a):
  maximaler w/z-Wert = 0,60
  Zementgehalt ≥ 280 kg/m³
  Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30
- Probekörperlagerung nach DIN EN 12390-2/A20, nationaler Anhang NA ($f_{c,dry,cube}$)
- Vorhaltemaß für Erstprüfung nach DIN EN 206-1, Anhang A: 6 bis 12 N/mm²; gewählt: 8 N/mm²

Gesucht:

Betonzusammensetzung für 1 m³ verdichteten Frischbeton in der Erstprüfung:

- Wasserzementwert w/z
- Wassergehalt w
- Zementgehalt z
- Gehalt an Gesteinskörnung g

Lösung:

1. Wasserzementwert w/z:

Für C30/37 gilt:

- Berücksichtigung Vorhaltemaß: $f_{cm,cube} = f_{ck} + 8\ N/mm^2$
  $f_{cm,cube} \geq 37 + 8 = 45\ N/mm^2$
- Einfluss aus Probekörperlagerung: $f_{c,cube} = 0{,}92 \cdot f_{c,dry,\ cube}$
  (siehe Tabelle 11.2.2.a)
  $f_{c,dry,cube} \geq 45 / 0{,}92 = 48{,}9\ N/mm^2$
- Gewählte Druckfestigkeit: $f_{c,dry,cube} = 49\ N/mm^2$

Aus Abbildung 9.2.a Walz-Kurven folgt: w/z-Wert = 0,48

2. Wassergehalt w:

Für Sieblinie A/B16 folgt aus Tabelle 2.7.2.b: k = 3,75
Für k = 3,75 und Konsistenzklasse F2 folgt aus Abbildung 2.7.3.a:
w = 175 kg/m³

3. Zementgehalt z:

$$z = \frac{w}{w/z} = \frac{175}{0{,}48} = 365\ kg/m^3$$

4. Gehalt an Gesteinskörnung:

Aus der Stoffraumgleichung folgt bei Berücksichtigung von 1,5 Vol.-% Luftporen (15 dm³/m³):

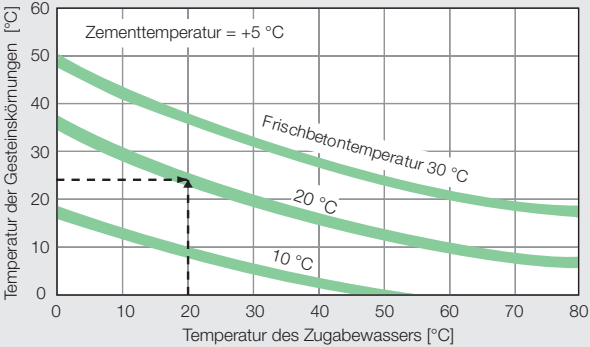
$$1000 = \frac{365}{3{,}05} + \frac{175}{1{,}0} + \frac{g}{2{,}6} + 15$$

$$g = \left(1000 - \frac{365}{3{,}05} - \frac{175}{1{,}0} - 15\right) \cdot 2{,}6 = 1795\ kg/m^3$$

9.4 Ermittlung der Frischbetontemperatur

Aus den Temperaturen der Betonbestandteile Zement, Gesteinskörnung und Wasser kann die Temperatur des Frischbetons aus Abbildung 9.4.a abgelesen werden. Die Abbildung basiert auf einer Zementtemperatur von +5 °C. Weicht die Zementtemperatur davon ab, ist eine Korrektur der ermittelten Frischbetontemperatur notwendig: Eine um 10 K höhere Zementtemperatur bewirkt eine um ca. 1 K höhere Frischbetontemperatur.

Abbildung 9.4.a: Ermittlung der Frischbetontemperatur



Beispiel 1: Ermittlung der Frischbetontemperatur aus Abbildung 9.4.a

Gegeben:	Temperatur der Gesteinskörnung	= 23 °C
	Temperatur des Zugabewassers	= 20 °C
	Temperatur des Zementes	= 65 °C
Lösung:	Ablesewert Abbildung 9.4.a	= 20 °C
	Korrektur Zementtemperatur	= 6 °C
	Frischbetontemperatur	= 20 + 6 = 26 °C

Die Frischbetontemperatur kann nach folgender Gleichung auch rechnerisch ermittelt werden:

$$T_b = \frac{0{,}84 \cdot (z \cdot T_z + f \cdot T_f + g \cdot T_g) + 4{,}2 \cdot w \cdot T_w}{0{,}84 \cdot (z + f + g) + 4{,}2 \cdot w}$$

T_b, T_z, T_f, T_g, T_w	- Temperaturen von Frischbeton, Zement, Zusatzstoff, Gesteinskörnung und Wasser	[°C]
z, f, g, w	- Gehalt von Zement, Zusatzstoff, Gesteinskörnung und Wasser	[kg/m^3]
c = 0,84	- spezifische Wärmekapazität von Zement, Zusatzstoff und Gesteinskörnung	[kJ/(kg·K)]
c_w = 4,2	- spezifische Wärmekapazität von Wasser	[kJ/(kg·K)]

Beispiel 2: Rechnerische Ermittlung der Frischbetontemperatur

Gegeben: Temperaturen siehe Beispiel 1

$z = 300\ kg/m^3$

$g = 1900\ kg/m^3$

$w = 175\ kg/m^3$

Lösung:
$$T_b = \frac{0{,}84 \cdot (300 \cdot 65 + 1900 \cdot 23) + 4{,}2 \cdot 175 \cdot 20}{0{,}84 \cdot (300 + 1900) + 4{,}2 \cdot 175} = 26\ °C$$

Faustregel: Eine Änderung der Frischbetontemperatur um 1 K von Normalbeton mit ca. 300 kg/m³ Zement, ca. 1900 kg/m³ Gesteinskörnung und ca. 170 kg/m³ Wasser wird bewirkt durch

- Änderung der Zementtemperatur um ca. 10 K,
- Änderung der Wassertemperatur um ca. 3,6 K oder
- Änderung der Temperatur der Gesteinskörnung um ca. 1,6 K.

9.5 Ermittlung der Festbetontemperatur

Die Zeit bis zum Temperaturmaximum im Kern eines Bauteils kann wie folgt abgeschätzt werden:

für $d \le 3{,}50$ m:	$t_{max} \approx d + 0{,}5$ Tage
für $d > 3{,}50$ m:	$t_{max} \approx d + 1{,}0$ Tage

d - Dicke des Bauteils [m]

t_{max} - Zeit bis zum Erreichen des Temperaturmaximums im Kern des Bauteils [d]

Die Temperaturentwicklung im Kern eines Bauteils kann folgendermaßen überschlägig berechnet werden:

$$T_{max} \approx T_b + \Delta T_{Kern} \quad [°C]$$

T_{max} - maximale Temperatur im Kern des Bauteils [°C]

T_b - Frischbetontemperatur [°C]

ΔT_{Kern} - Temperaturanstieg im Kern [K]

Der durch die Hydratationswärme verursachte Temperaturanstieg im Kern kann über folgende Gleichung abgeschätzt werden:

$$\Delta T_{Kern} \approx \frac{z \cdot H_{Zem}(t)}{Q_{Bet}} \qquad [K]$$

$H_{Zem}(t)$ - Hydratationswärme des Zementes nach t Tagen [kJ/kg]

Q_{Bet} - Wärmekapazität/(m^3 Beton):

$$Q_{Bet} \approx c \cdot (z + f + g) + c_w \cdot w \qquad [kJ/(m^3K)]$$

z, f, g, w - Gehalt an Zement, Zusatzstoff, Gesteinskörnung und Wasser [kg/m^3]

c = 0,84 - spezifische Wärmekapazität von Zement, Zusatzstoff und Gesteinskörnung [kJ/(kg·K)]

c_w = 4,2 - spezifische Wärmekapazität von Wasser [kJ/(kg·K)]

Anhaltswerte für die Hydratationswärme von Zementen in Abhängigkeit von der Zeit können Tabelle 9.5.a entnommen werden.

Tabelle 9.5.a: Hydratationswärme von Zementen, bestimmt mit dem Lösungskalorimeter (isotherme Lagerung, 20 °C)

Festigkeitsklasse	Hydratationswärme HW [kJ/kg] nach ... Tagen				Hydratationswärme HW_∞ [kJ/kg]	
					Portlandzement	Portlandhütten- und Hochofenzement
	1	3	7	28		
32,5 N	60 bis 175	125 bis 250	150 bis 300	200 bis 375	375 bis 525	355 bis 440
32,5 R	125 bis 200	200 bis 335	275 bis 375	300 bis 425		
42,5 N						
42,5 R	200 bis 275	300 bis 350	325 bis 375	375 bis 425		
52,5 N						
52,5 R						

Beispiel

Gegeben: z = 300 kg/m^3 CEM III/B 32,5, N-LH/SR
w = 150 kg/m^3 T_b = 20 °C
g = 1900 kg/m^3 d = 2,0 m

Gesucht:

Maximaltemperatur T_{max} im Kern des Bauteils

Lösung:

1. Zeitpunkt des Temperaturmaximums im Beton
   $t_{max} \approx 2{,}0 + 0{,}5 = 2{,}5$ Tage ≈ 3 Tage
2. Hydratationswärme des Zementes nach 3 Tagen nach Tabelle 9.5.a:
   $H_{Zem}(3) = 175$ kJ/kg
3. Wärmekapazität/(m^3 Beton)
   $Q_{Bet} = c \cdot (z + g) + c_w \cdot w = 0{,}84 \cdot (300 + 1900) + 4{,}2 \cdot 150 = 2478$ kJ/(m^3K)
4. Temperaturanstieg im Kern des Betons

$$\Delta T_{Kern} \approx \frac{z \cdot H_{Zem}(3)}{Q_{Bet}} = \frac{300 \cdot 175}{2478} = 21\ K$$

5. Zu erwartende Kerntemperatur nach 3 Tagen
   $T_{max} \approx T_b + \Delta T_{Kern} = 20 + 21 = 41$ °C
6. Oberflächentemperatur nach 3 Tagen:
   Um Temperaturrisse zu verhindern, sollte die Temperaturdifferenz zwischen der Bauteiloberfläche und dem Bauteilkern nicht größer als 15 K sein.
   Dies bedeutet, dass die Oberflächentemperatur am dritten Tag ≥ 41 - 15 = 26 °C betragen muss. Dies kann z. B. durch Abdecken mit wärmedämmendem Material erreicht werden.

9.6 Formänderungen

9.6.1 Schwinden und Quellen

Schwinden und Quellen sind u. a. abhängig von Alter, Größe und Umgebungsbedingungen des Bauteils, vom Wassergehalt des Betons sowie Art und Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung.

Schwinden

Die Volumenverringerung von Zementstein im Beton/Mörtel wird als Schwinden bezeichnet. Grundsätzlich werden folgende Schwindprozesse unterschieden:

- Plastisches Schwinden (Kapillar- oder Frühschwinden):
  Die vor dem Erhärtungsbeginn entstehende Volumenverringerung infolge von Austrocknung durch Wind, Sonneneinstrahlung und/oder hohe Temperaturen bei niedriger relativer Luftfeuchtigkeit wird als plastisches Schwinden bezeichnet. Es entsteht durch Kapillarkräfte

beim Entzug des Wassers. In Beton können bei unzureichender Nachbehandlung Risse senkrecht zur Oberfläche mit einer Tiefe von mehreren Zentimetern auftreten.

- Schrumpfen:
  Das Schrumpfen setzt sich aus chemischem und autogenem Schwinden zusammen. Chemisches Schwinden entsteht bei der Hydratation durch chemisches Einbinden von Wasser in die Hydratationsprodukte. Chemisch gebundenes Wasser hat ein um ca. 25 % geringeres Volumen als „freies Wasser".

  Autogenes Schwinden bezeichnet eine Volumenverringerung durch innere Selbstaustrocknung mit fortschreitender Hydratation des Zementsteins.

$$V_{Zement} + V_{wasser} > V_{Hydratationsprodukt}$$

  Für Normalbetone hat das Schrumpfen keine praxisrelevante Bedeutung.

- Trocknungsschwinden:
  Volumenminderung infolge Abgabe von Überschusswasser, das nicht chemisch oder physikalisch gebunden ist. Trocknungsschwinden läuft im erhärtenden und erhärteten Beton ab und hängt im Wesentlichen von den Umgebungsbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit) ab.

- Carbonatisierungsschwinden:
  Durch die Reaktion des Kohlendioxids der Luft mit dem Calciumhydroxid im Zementstein entsteht ein irreversibles Schwinden, das zu Netzrissen im oberflächennahen Bereich führen kann.

Die Prüfung des Schwindens ist nicht in der Zementnorm enthalten, weil das am Normmörtel gemessene Schwinden kein geeigneter Maßstab zur Beurteilung des Schwindmaßes von Beton ist.

Bei dauernder Feuchtlagerung tritt kein praxisrelevantes Schwinden auf.

Anhaltswerte für das Endschwindmaß enthält Tabelle 9.6.3.a. Genaue Berechnung nach DIN EN 1992-1-1/DIN EN 1992-1-1/NA, Abschnitt 3.1.4.

Quellen
Die Volumenzunahme infolge von Wassereinlagerung in das Zementsteingefüge wird als Quellen bezeichnet.

9.6.2 Kriechen

Die Volumenänderung von Beton infolge plastischer Verformung unter Lasteinwirkung wird als Kriechen bezeichnet.

Kriechen hängt von der Größe und Dauer der Belastung, Umwelt, Wasserzementwert, Zementgehalt, Art der Gesteinskörnung und Erhärtungsgrad zum Zeitpunkt der Belastung ab.

Die Kriechdehnung des Betons $\varepsilon_{cc}(\infty,t_0)$ zum Zeitpunkt $t = \infty$ darf nach DIN EN 1992-1-1/DIN EN 1992-1-1/NA, Abschnitt 3.1.4, bei zeitlich konstanter kriecherzeugender Spannung σ_c wie folgt berechnet werden:

$$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \cdot (\sigma_c / E_C)$$

$\varphi(\infty,t_0)$ - Endkriechzahl

σ_c - kriecherzeugende Betonspannung [N/mm²]

E_C - Elastizitätsmodul für Normalbeton als Tangente im Ursprung der Spannungs-Dehnungslinie [N/mm²]

t_0 - Betonalter bei Belastungsbeginn in Tagen

Anhaltswerte für die Endkriechzahl enthält Tabelle 9.6.3.a.

9.6.3 Temperaturdehnung

Die Temperaturdehnung von Beton hängt u. a. von den Wärmedehnzahlen (α_T) der Gesteinskörnung und des Zementsteines, der Temperaturdifferenz (ΔT) und vom Feuchtigkeitszustand des Betons ab.

Berechnung der Temperaturdehnung:

$$\varepsilon_T = \alpha_T \cdot \Delta T \quad [mm/m]$$

Tabelle 9.6.3.a: Anhaltswerte für Formänderungen von Normalbeton

Größe	Symbol	Anhaltswerte
Endschwindmaß	ε_{CS}	$0{,}1 \cdot 10^{-3}$ bis $0{,}6 \cdot 10^{-3}$ bzw. 0,1 bis 0,6 mm/m
Endkriechzahl	$\varphi(\infty,t_0)$	1,0 bis 3,5
Wärmedehnzahl	α_T	$10 \cdot 10^{-6}$ 1/K bzw. 0,01 mm/(m·K)

9.6.4 Elastische Verformung

Verformung unter Belastung, die bei Entlastung völlig zurückgeht, wird als elastische Verformung bezeichnet.

Die elastische Verformung hängt vor allem von der Gesteinskörnung, aber auch vom Wasserzementwert, der Betonfestigkeit und von Lagerung und Alter ab.

Berechnung der elastischen Verformung:

$$\varepsilon_{el} = \sigma / E_b$$

σ - Spannung [N/mm^2]

E_b - Elastizitätsmodul (E-Modul) des Betons [N/mm^2]

Die in Tabelle 9.6.4.a angegebenen Werte für den E-Modul sind lediglich Richtwerte nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 3.1.3, für Betonsorten mit quarzithaltigen Gesteinskörnungen. Die Werte sind bei Gesteinskörnungen aus

- Kalkstein um 10 %, bei
- Sandstein um 30 % zu reduzieren und bei
- Basalt um 20 % zu erhöhen.

Für Verformungsberechnungen ist der Sekantenmodul E_{cm}, gegebenenfalls unter Berücksichtigung des Kriechens, zu verwenden. Die Abweichung der tatsächlichen Werte eines Betons kann erheblich sein. Bei anspruchsvollen, verformungsempfindlichen Ingenieurbauwerken, z. B. Brücken und Decken mit Vorspannung, kann es deshalb erforderlich sein, für die Bemessung tatsächliche Prüfwerte zu verwenden.

Tabelle 9.6.4.a: Elastizitätsmodul von Normalbeton nach DIN EN 1992-1-1/ DIN EN 1992-1-1/NA

Druckfestigkeitsklasse	$f_{ck,cyl}$ [1]	$f_{ck,cube}$ [2]	E_{cm} [3]
	N/mm²		
C12/15	12	15	27000
C16/20	16	20	29000
C20/25	20	25	30000
C25/30	25	30	31000
C30/37	30	37	33000
C35/45	35	45	34000
C40/50	40	50	35000
C45/55	45	55	36000
C50/60	50	60	37000
C55/67	55	67	38000
C60/75	60	75	39000
C70/85	70	85	41000
C80/95	80	95	42000
C90/105	90	105	44000
C100/115	100	115	45000

[1] $f_{ck,cyl}$ - charakteristische Druckfestigkeit des Betons, geprüft am Zylinder nach 28 Tagen.
[2] $f_{ck,cube}$ - charakteristische Druckfestigkeit des Betons, geprüft am Würfel nach 28 Tagen.
[3] E_{cm} - mittlerer Elastizitätsmodul von Normalbeton (Sekantenwert zwischen $\sigma_c = 0$ und $0{,}4 \cdot f_{cm}$) mit $f_{cm} = f_{ck,cyl} + 8$.

Für Leichtbeton gilt nachfolgende Gleichung:

$$E_{lcm} = \eta_E \cdot E_{cm}$$

E_{cm} - Elastizitätsmodul nach Tabelle 9.6.4.a

η_E - Beiwert zur Berücksichtigung der Rohdichte $\eta_E = (\rho/2200)^2$

ρ - ofentrockene Dichte nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 in [kg/m³]

9.6.5 Abschätzung der Formänderung von Beton

Die gesamte Formänderung aus Schwinden, Kriechen, Temperatur und elastischer Verformung kann wie folgt abgeschätzt werden:

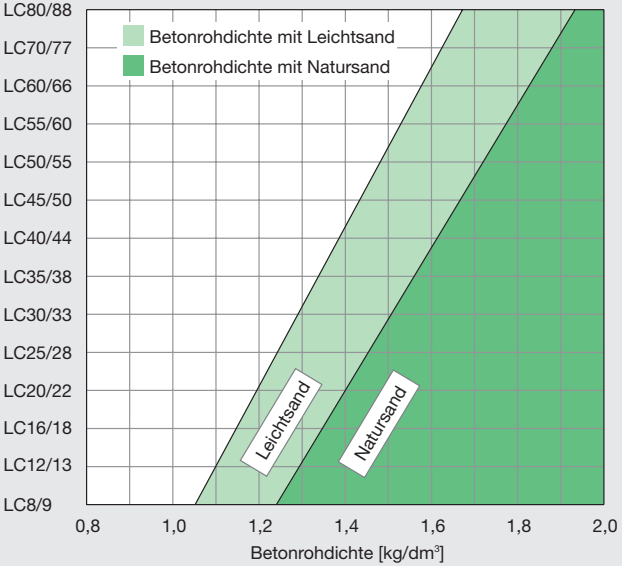
$$\Delta l = l \left[\frac{\sigma}{E} \left(1+\varphi_{(\infty,t_0)}\right) + \varepsilon_{cs}(\infty) + \alpha_T \cdot \Delta T \right]$$

Δl	- Längenänderung (Verkürzung –, Verlängerung +)	[mm]
l	- Länge des Bauteils	[mm]
σ	- Spannung (Druck –, Zug +)	[N/mm^2]
E	- Elastizitätsmodul	[N/mm^2]
$\varphi_{(\infty,t0)}$	- Endkriechzahl	[-]
$\varepsilon_{cs}(\infty)$	- Endschwind- bzw. Endquellmaß (Schwinden –, Quellen +)	[-]
α_T	- Wärmedehnzahl	[1/K]
ΔT	- Temperaturdifferenz (Abnahme –, Erhöhung +)	[K]

9.7 Abschätzung von Leichtbetondruckfestigkeiten

Die eindeutige Beschreibung von Leichtbeton erfolgt über die angestrebte Betonrohdichte und Druckfestigkeit. Für übliche Betonzusammensetzungen kann aus Abbildung 9.7.a der Zusammenhang zwischen Betonrohdichte und Druckfestigkeit abgeschätzt werden.

Abbildung 9.7.a: Anhaltswerte für die Zuordnung von Festigkeitsklassen zu niedrigst möglicher Betonrohdichte



10 Bauausführung

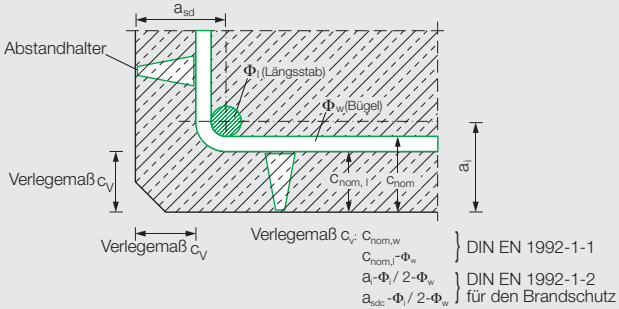
10.1 Betondeckung der Bewehrung nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA

Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Stahlbeton legen DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA Anforderungen an die Betondeckung der Bewehrung fest. Betondeckung ist der minimale Abstand zwischen Bewehrungsoberfläche zur nächstgelegenen Betonoberfläche.

Tabelle 10.1.a: Begriffe und Zeichen nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1/NA

Begriff	Definition
Betondeckung	■ Abstand zwischen der Oberfläche eines Bewehrungsstabes und der nächstgelegenen Betonoberfläche
c_{nom}	■ Nennmaß der Betondeckung
c_{min}	■ Mindestbetondeckung
	■ Kontrollmaß am erhärteten Bauteil
Δc_{dev}	■ Vorhaltemaß der Betondeckung zur Berücksichtigung unplanmäßiger Abweichungen (siehe Tabelle 10.1.d)
	■ Zur Gewährleistung von c_{min} im erhärteten Bauteil
	■ Angabe auf Bewehrungszeichnung erforderlich
c_v	■ Verlegemaß der Bewehrung $c_v \geq c_{nom}$ (siehe Abbildung 10.1.a)
	■ Angabe auf Bewehrungszeichnung erforderlich
	■ maßgebend für die statische Bauteilbemessung (Nutzhöhe d)
$c_{min,b}$	■ Mindestbetondeckung aus Verbundanforderung
$c_{min,dur}$	■ Mindestbetondeckung aus Dauerhaftigkeitsanforderung
$\Delta c_{dur,\gamma}$	■ additives Sicherheitselement
$\Delta c_{dur,st}$	■ Größe der mögl. Betondeckungsreduzierung bei Verwendung nicht rostender Stähle
$\Delta c_{dur,add}$	■ Größe der möglichen Betondeckungsreduzierung bei Anwendung zusätzlicher Schutzmaßnahmen
ϕ_s	■ Stabdurchmesser der Betonstahlbewehrung
ϕ_n	■ Vergleichsdurchmesser der Bewehrung eines Stabbündels
ϕ_p	■ Nenndurchmesser der Litze oder des Drahtes bei Spanngliedern
ϕ_{duct}	■ Hüllrohrdurchmesser

Abbildung 10.1.a: Betondeckung der Bewehrung



Grundsätzliche Anforderung an die Betondeckung

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Einhaltung der Mindestbetondeckung c_{min}

10

- zur Sicherstellung der Übertragung von Verbundkräften zwischen Bewehrung und Beton (Verbund)
- zum Schutz des einbetonierten Stahls vor Korrosion (Dauerhaftigkeit)
- zum Schutz der Bewehrung gegen Brandeinwirkung unter Berücksichtigung von DIN EN 1992-1-2 (Feuerwiderstand)

Maßgebend ist der größere Wert, der sich aus den Verbund- bzw. Dauerhaftigkeitsanforderungen ergibt.

$$c_{min} = \max \{c_{min,b};\ c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add};\ 10\ mm\}$$
$$\text{jedoch stets } c_{min} \geq c_{min,b}$$

Beispiel: Wohnhausdecke

Gegeben:

- Expositionsklasse: XC1, W0
- Mindestbetonfestigkeit: C16/20
- Mindestbetondeckung: $c_{min,dur}$ = 10 mm
- Stabdurchmesser der untersten Bewehrungslage: Ø = 14 mm
- keine zusätzliche Schutzmaßnahmen, Normalstahl

Gesucht:

- Mindestbetondeckung c_{min}
- Vorhaltemaß Δc_{dev}
- Nennmaß c_{nom}

Lösung:

Korrekturwert (additives Sicherheitselement): $\Delta c_{dur,\gamma} = 0$ mm

Mindestmaß XC1 $c_{min,dur} = 10$ mm

Mindestbetondeckung aus Dauerhaftigkeitsanforderung:

$c_{min} \geq c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} = 10 + 0 - 0 - 0 = 10$ mm

Mindestbetondeckung aus Verbundanforderung: $c_{min,b} = 14$ mm

- Mindestbetondeckung: $c_{min} \geq c_{min,b} = 15$ mm (gerundet auf volle 5 mm-Schritte)
- Vorhaltemaß: $\Delta c_{dev} = 10$ mm
- Nennmaß (Angabe auf der Bewehrungszeichnung):
  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25$ mm

Tabelle 10.1.b: Mindestbetondeckung $c_{min,b}$ zur Sicherstellung eines ausreichenden Verbundes

Art der Stahleinlage		Mindestbetondeckung $c_{min,b}$ [1) 2)]
Betonstabstahl		Stabdurchmesser ϕ_s
Stabbündel		Vergleichsdurchmesser ϕ_n
Spannglieder im nachträglichen Verbund [3)]	runde Hüllrohre	Hüllrohrdurchmesser $\phi_{duct} \leq 80$ mm
	rechteckige Hüllrohre mit a ≤ b	max{a; b/2} ≤ 80 mm
Spannglieder im sofortigen Verbund [3)]		2,5 ϕ_p
Spannglieder ohne Verbund		gem. Bestimmungen der Europäischen Technischen Bewertung

1) Bei Größtkorn > 32 mm und unebener Oberfläche ist i.d.R. $c_{min,b}$ um 5 mm zu vergrößern.
2) Bei Leichtbeton ist $c_{min,b}$ um 5 mm zu vergrößern.
3) Im Verankerungsbereich von Spanngliedern Mindestbetondeckung nach jeweiliger Europäischer Technischer Bewertung .

Tabelle 10.1.c: Mindestbetondeckung $c_{min,dur}$ aus Dauerhaftigkeitsanforderung und additives Sicherheitselement $\Delta c_{dur,\gamma}$

Expositionsklasse	Dauerhaftigkeitsanforderung $c_{min,dur}$ in mm für			
	Betonstahl DIN 488		Spannstahl	
	$c_{min,dur}$ [1) 2)]	$\Delta c_{dur,\gamma}$	$c_{min,dur}$ [1) 2)]	$\Delta c_{dur,\gamma}$
(X0)	(10)	0	(10)	0
XC1	10		20	
XC2/XC3	20		30	
XC4	25		35	
XD1/XS1	30	+ 10	40	+ 10
XD2/XS2	35	+ 5	45	+ 5
XD3/XS3	40	0	50	0

1) Anforderungsklasse S3 (50 Jahre Nutzungsdauer für den allgemeinen Hochbau).

2) Verminderung von $c_{min,dur}$ um 5 mm zulässig, sofern
- Beton ohne Luftporenbildner mindestens zwei Klassen über indikativer Mindestfestigkeitsklasse nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA, Anhang E, liegt,
- Beton mit Mindestluftgehalt für Expositionsklassen XF mindetens eine Klasse über indikativer Mindestfestigkeitsklasse liegt.

(indikativ: Expositionsklasse mit der höchsten Anforderung wenn mehrere Expositionsklassen für ein Bauteil zutreffen)

Weitere Regelungen:

- Nichtrostende Stähle:
  Für die Abminderung der Mindestbetondeckung $\Delta c_{dur,st}$ gelten die Bestimmungen der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.
- Rissüberbrückende Beschichtung:
  Die Abminderung der Mindestbetondeckung $\Delta c_{dur,add}$ darf in den Expositionsklassen XD mit 10 mm angesetzt werden. In allen anderen Fällen ist $\Delta c_{dur,add} = 0$.
- Fertigteile:
  Bei kraftschlüssigem Verbund mit Ortbeton verbunden gilt für die Betondeckung beidseitig der Fuge $c_{min} = c_{min,b}$, sofern Beton C25/30 verwendet wird, das Außenklima maximal 28 Tage auf die Betonoberfläche einwirken kann und die Fuge aufgeraut wird.
- Verschleißbeanspruchung:
  Wird bei Betonbauteilen der Expositionsklasse XM auf den Einsatz von Gesteinskörnungen mit zusätzlichen Anforderungen verzichtet,

kann die Beanspruchung durch eine Vergrößerung der Betondeckung (Opferschicht) berücksichtigt werden. Die Mindestbetondeckung c_{min} ist dabei für XM1 um k_1 = 5 mm, für XM2 um k_2 = 10 mm und für XM3 um k_3 = 15 mm zu erhöhen.

Um mögliche negative Abweichungen in der Bauausführung zu berücksichtigen, ist das Vorhaltemaß nach Tabelle 10.1.d zu wählen.

Tabelle 10.1.d: Vorhaltemaß Mindestbetondeckung Δc_{dev}

	Vorhaltemaß Δc_{dev} in mm [1) 2)]
für Dauerhaftigkeit mit $c_{min,dur}$	15 [3)]
für Verbund mit $c_{min,b}$	10

1) Unter der Voraussetzung einer entsprechenden Qualitätskontrolle bei Planung, Entwurf, Herstellung und Bauausführung darf Δc_{dev} um 5 mm verringert werden.
2) Bei bewehrten Bauteilen auf Sauberkeitsschicht ist das Vorhaltemaß um k_1 = 20 mm, bei bewehrten Bauteilen gegen Baugrund um k_2 = 50 mm zu erhöhen.
3) Für XC1 gilt Δc_{dev} = 10 mm.

10.2 Fördern und Verarbeiten des Betons nach DIN EN 13670/DIN 1045-3

Beim Fördern und Verarbeiten von Transportbeton ist zu beachten:

- Bei Übergabe des Betons muss die vereinbarte Konsistenz vorhanden sein.
- Entladezeit:
  - Fahrmischer oder Fahrzeuge mit Rührwerk sollten 90 Minuten nach der ersten Wasserzugabe entladen sein.
  - Fahrzeuge ohne Mischer oder Rührwerk (Beton mit steifer Konsistenz) sollten 45 Minuten nach der ersten Wasserzugabe entladen sein.
- Beschleunigtes oder verzögertes Erstarren infolge von Witterungseinflüssen bzw. der Zusammensetzung des Betons sind zu berücksichtigen.
- Der Frischbeton ist vor schädlichen Witterungseinflüssen zu schützen.
- Der Beton darf bei Transport und Einbau nicht mit Materialien in Berührung kommen, die schädliche Reaktionen in Beton bewirken (z. B. Aluminium von Fahrzeug-Ladeflächen, Pumpenrohre).

10.3 Frischbetontemperatur

Die Frischbetontemperatur darf nach DIN 1045-3 im Allgemeinen +30 °C nicht überschreiten, außer es wird durch geeignete Maßnahmen sichergestellt, dass keine nachteiligen Folgen zu erwarten sind. Für das Betonieren in der kalten Jahreszeit gelten die Angaben der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 10.3.a: Erforderliche Frischbetontemperaturen bei niedrigen Außentemperaturen

Lufttemperatur [°C]	Mindesttemperatur des Frischbetons beim Einbau [°C]
+5 bis -3	+5 allgemein +10 bei Zementgehalt < 240 kg/m³ oder bei LH-Zementen
< -3	+10 sollte mindestens 3 Tage gehalten werden [1)]

[1)] Wird diese Anforderung nicht erfüllt, ist der Beton so lange zu schützen, bis eine ausreichende Festigkeit erreicht ist.

10.4 Gefrierbeständigkeit

Gegen Niederschlag geschützter junger Beton darf nach DIN 1045-3 i.d.R. erst durchfrieren, wenn seine Druckfestigkeit f_{cm} mindestens bei 5 N/mm² liegt oder die Betontemperatur mindestens 3 Tage bei +10 °C oder höher lag.

Tabelle 10.4.a: Erforderliche Erhärtungszeit zum Erreichen des ausreichenden Gefrierwiderstandes von Beton (Anhaltswerte)

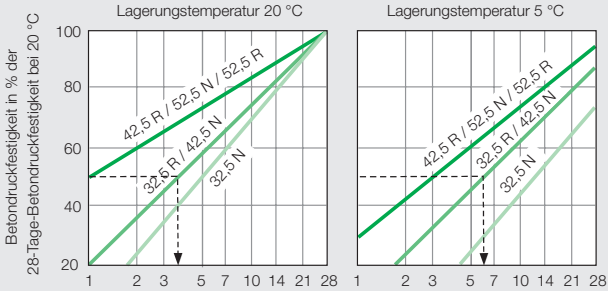
Zementfestigkeitsklasse	w/z-Wert	Erforderliche Erhärtungszeit in Tagen bei einer Betontemperatur von		
		5 °C	12 °C	20 °C
52,5 N; 52,5 R; 42,5 R	0,40	0,5	0,25	0,25
	0,60	0,75	0,5	0,5
42,5 N; 32,5 R	0,40	1	0,75	0,5
	0,60	2	1,5	1
32,5 N	0,40	2	1,5	1
	0,60	5	3,5	2

10.5 Festigkeitsentwicklung in Abhängigkeit von der Betontemperatur

Erstarren und Erhärten des Zementes sind temperaturabhängig. Niedrige Temperaturen verzögern, hohe Temperaturen beschleunigen die Hydratation. Bei einer Betontemperatur von < 5 °C sind die chemischen Reaktionen sehr stark verlangsamt.

Für die Herstellung von Bauwerken bei niedrigen Temperaturen sind Zemente mit schneller Wärme- und Festigkeitsentwicklung besonders geeignet.

Abbildung 10.5.a: Anhaltswerte für die Entwicklung der Betondruckfestigkeit bei 20 °C und 5 °C Lagerungstemperatur in Abhängigkeit vom verwendeten Zement



10.6 Ausschalfristen

Bauteile dürfen entschalt werden, wenn der Beton ausreichend erhärtet ist. DIN EN 13670/DIN 1045-3 gibt keine Richtwerte für Ausschalfristen an. Erfahrungswerte enthält Tabelle 10.6.a. Weitere Hinweise zu Ausschalfristen enthält das DBV-Merkblatt „Betonschalungen und Ausschalfristen“.

Tabelle 10.6.a: Erfahrungswerte für Ausschalfristen aus DIN 1045:1988-07

Festigkeits-klasse des Zements	Für die seitliche Schalung der Balken und die Schalung der Wände und Stützen [Tage]	Für die Schalung der Deckenplatten [Tage]	Für die Rüstung (Stützung) der Balken, Rahmen und weit gespannter Platten [Tage]
42,5 R; 52,5 N; 52,5 R	1	3	6
32,5 R; 42,5 N	2	5	10
32,5 N	3	8	20

Bei Temperaturen < 10 °C können sich wesentlich längere Ausschalfristen ergeben.

10.7 Nachbehandlung und Schutz des Betons

10.7.1 Allgemeines

Nach DIN EN 13670/DIN 1045-3 ist Beton in den oberfächennahen Bereichen so lange gegen schädigende Einfüsse, z. B. Austrocknen und starkes Abkühlen, zu schützen, bis eine ausreichende Festigkeit erreicht ist. Die Nachbehandlung hat unverzüglich nach Abschluss des Verdichtens und der Oberflächenbearbeitung zu erfolgen. Nachbehandlungsverfahren und Nachbehandlungsdauer sind in DIN EN 13670/DIN 1045-3 beschrieben.

10.7.2 Nachbehandlungsverfahren

Geeignete Verfahren für das Feuchthalten des Betons sind (auch in Kombination):

- Belassen in der Schalung
- Abdecken mit Folien, die an Kanten und Stößen gesichert sind
- Auflegen von Wasser speichernden Abdeckungen, die feucht gehalten werden
- Aufrechterhalten eines sichtbaren Wasserfilms auf der Betonoberfläche (z. B. Besprühen, Fluten)
- Aufsprühen von Nachbehandlungsmitteln mit nachgewiesener Eignung (unzulässig in Arbeitsfugen und bei später zu beschichtenden Oberflächen; Ausnahme: Eignungsnachweis oder spätere Entfernung des Nachbehandlungsmittels von der Betonoberfläche)

10.7.3 Nachbehandlungsdauer

Die Nachbehandlungsdauer hängt von der Entwicklung der Betoneigenschaften in der Randzone ab. Ohne genaueren Nachweis (z. B. durch Messungen der Temperatur im Beton oder der mittleren Tagestemperatur der Luft, Rückprallhammerprüfungen, Anwendung geeigneter Rechenmodelle) der Festigkeit richtet sich die Dauer der Nachbehandlung nach der Expositionsklasse, der Oberflächentemperatur und der Festigkeitsentwicklung des Betons.

Tabelle 10.7.3.a: Nachbehandlungsdauer

Expositionsklasse	erforderliche Festigkeit im oberflächennahen Bereich	Mindestdauer der Nachbehandlung
X0, XC1	-	0,5 Tage [1) 2)]
alle außer X0, XC1, XM	$0{,}5 \cdot f_{ck}$	Mindestdauer gemäß Tabelle 10.7.3.b bzw. 10.7.3.c [3)]
XM	$0{,}7 \cdot f_{ck}$	Mindestdauer gemäß Tabelle 10.7.3.b verdoppeln

1) NB-Zeit bei Verarbeitbarkeitszeit > 5 h angemessen verlängern.
2) NB-Zeit um die Zeitdauer verlängern, während der die Temperaturen < 5 °C lagen.
3) Für XC2 bis XC4 und XF1 ist auch Tabelle 10.7.3.c anwendbar. Bei Stahlschalung oder bei ungeschalten Oberfächen darf Tabelle 10.7.3.c nur angewendet werden, wenn ein übermäßiges Auskühlen des Betons im Anfangsstadium der Erhärtung durch entsprechende Schutzmaßnahmen ausgeschlossen wird.

Tabelle 10.7.3.b: Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton in Tagen [1)] (alle Expositionsklassen außer X0, XC1 und XM)

Oberflächentemperatur ϑ [°C] [2)]	Nachbehandlungsdauer [3) 4)] [Tage]			
	$r \geq 0{,}50$	$r \geq 0{,}30$	$r \geq 0{,}15$	$r < 0{,}15$
$\vartheta \geq 25$	1	2	2	3
$25 > \vartheta \geq 15$	1	2	4	5
$15 > \vartheta \geq 10$	2	4	7	10
$10 > \vartheta \geq 5$ [5)]	3	6	10	15

1) NB-Zeit bei Verarbeitbarkeitszeit > 5 h angemessen verlängern.
2) Anstelle der Oberflächentemperatur des Betons darf die Lufttemperatur angesetzt werden.
3) Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm2} / f_{cm28}$, ermittelt bei der Erstprüfung oder auf Grundlage der Ergebnisse einer bekannten Betonzusammensetzung. Wird in Sonderfällen zum Zeitpunkt t > 28 d die Druckfestigkeit bestimmt, gilt: $r = f_{cm2} / f_{cm,\,(t\,>\,28\ d)}$; alternativ kann eine Festigkeitsentwicklungskurve bei 20 °C angegeben werden.
4) Zwischenwerte dürfen ermittelt werden.
5) NB-Zeit um die Zeitdauer verlängern, während der die Temperaturen < 5 °C lagen.

Tabelle 10.7.3.c: Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton in Tagen [1] bei den Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1

Frischbetontemperatur ϑ [°C]	Nachbehandlungsdauer [2] [3]		
	$r \geq 0{,}50$	$r \geq 0{,}30$	$r \geq 0{,}15$
$\vartheta \geq 15$	1	2	4
$15 > \vartheta \geq 10$	2	4	7
$10 > \vartheta \geq 5$	4	8	14

[1] NB-Zeit bei Verarbeitbarkeitszeit > 5 h angemessen verlängern.

[2] Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm2} / f_{cm28}$, ermittelt bei der Erstprüfung oder auf Grundlage der Ergebnisse einer bekannten Betonzusammensetzung. Wird in Sonderfällen zum Zeitpunkt t > 28 d die Druckfestigkeit bestimmt, gilt: $r = f_{cm2} / f_{cm,\,(t\,>\,28\,d)}$; alternativ kann eine Festigkeitsentwicklungskurve bei 20 °C angegeben werden.

[3] Zwischenwerte dürfen ermittelt werden.

10.8 Überwachungsprüfungen durch das Bauunternehmen

Zur Überprüfung der maßgebenden Frisch- und Festbetoneigenschaften wird der Beton in drei Überwachungsklassen eingeteilt. Bei mehreren zutreffenden Überwachungsklassen ist die höchste maßgebend.

Bei den Überwachungsprüfungen auf der Baustelle wird unterschieden zwischen Beton nach Eigenschaften und Beton nach Zusammensetzung.

Die Qualitätssicherung bei der Verarbeitung von Beton auf Baustellen beinhaltet:

- Überwachungsklasse 1: Eigenüberwachung, d. h. Überprüfung der maßgebenden Frisch- und Festbetoneigenschaften durch das Bauunternehmen (Annahmeprüfung).
- Überwachungsklassen 2 und 3: Eigen- und Fremdüberwachung, d. h. Überwachung des Betonierens durch das Bauunternehmen und durch eine dafür anerkannte Überwachungsstelle; Baustellen sind unter Angabe der Überwachungsstelle und „DIN EN 13670/ DIN 1045-3“ zu kennzeichnen.

10.8.1 Überwachungsklassen für Beton

Tabelle 10.8.1.a: Überwachungsklassen

Gegenstand	Überwachungsklasse		
	1	2 [1]	3 [1]
Festigkeitsklasse für Normal- und Schwerbeton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2			
	≤ C25/30 [2]	≥ C30/37 und ≤ C50/60	≥ C55/67
Festigkeitsklasse für Leichtbeton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 in Abhängigkeit von der Rohdichteklasse			
D1,0 - D1,4	nicht anwendbar	≤ LC25/28	≥ LC30/33
D1,6 - D2,0	≤ LC25/28	LC30/33 und LC35/38	≥ LC40/44
Expositionsklasse nach DIN 1045-2			
	X0, XC, XF1	XS, XD, XA, XM [3], XF2, XF3, XF4	-
Besondere Betoneigenschaften			
	-	■ Beton für wasserundurchlässige Baukörper (z. B. Weiße Wannen) [4] ■ Unterwasserbeton ■ Beton für hohe Gebrauchstemperaturen T ≤ 250 °C ■ Strahlenschutzbeton (ausgenommen KKW) ■ Für besondere Anwendungsfälle sind die jeweiligen DAfStb-Richtlinien anzuwenden.	-

[1] Bei Beton der Überwachungsklassen 2 und 3 muss die Überwachung durch das Bauunternehmen zusätzliche Anforderungen (siehe DIN EN 13670/DIN 1045-3, Anhang NC) erfüllen und eine Überwachung durch eine dafür anerkannte Überwachungsstelle (siehe DIN EN 13670/DIN 1045-3, Anhang ND) durchgeführt werden.

[2] Spannbeton der Festigkeitsklasse C25/30 ist stets in Überwachungsklasse 2 einzuordnen.

[3] Gilt nicht für übliche Industrieböden.

[4] Beton mit hohem Wassereindringwiderstand darf in Überwachungsklasse 1 eingeordnet werden, wenn der Baukörper nur zeitweilig aufstauendem Sickerwasser ausgesetzt ist und wenn in der Projektbeschreibung nichts anderes festgelegt ist.

10.8.2 Überwachung von Beton nach Eigenschaften

Bei Beton nach Eigenschaften ist der Hersteller für den Nachweis der Konformität des Betons verantwortlich.

Tabelle 10.8.2.a: Prüfhäufigkeiten für Beton nach Eigenschaften

Prüfgegenstand	Mindestprüfhäufigkeit für Überwachungsklasse		
	1	2	3
Lieferschein	jedes Lieferfahrzeug		
Konsistenz-messung [1]	■ in Zweifelsfällen	■ beim ersten Einbringen jeder Beton-zusammensetzung ■ bei Herstellung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung ■ in Zweifelsfällen	
Frischbetonroh-dichte von Leicht- und Schwerbeton	■ bei Herstellung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung ■ in Zweifelsfällen		
Gleichmäßigkeit des Betons (Augen-scheinprüfung)	■ Stichprobe	■ jedes Lieferfahrzeug	
Druckfestigkeit an in Formen hergestellten Probekörpern [2]	■ in Zweifelsfällen	■ 3 Proben je 300 m^3 oder je 3 Betonier-tage [3]	■ 3 Proben je 50 m^3 oder je 1 Betonier-tag [3]
Luftgehalt von Luftporenbeton	■ nicht zutreffend	■ zu Beginn jedes Betonierabschnitts ■ in Zweifelsfällen	
Frischbetontem-peratur	■ in Zweifelsfällen	■ bei Lufttemperaturen < 5 °C und > 30 °C beim Einbau des Betons	
Andere Eigen-schaften	■ in Übereinstimmung mit Normen, Richtlinien oder wie vorab vereinbart		

[1] Zusätzlich Augenscheinprüfung der Konsistenz als Stichprobe für Überwachungsklasse 1 bzw. an jedem Lieferfahrzeug für Überwachungsklassen 2 und 3.

[2] Die Prüfung muss für jeden verwendeten Beton erfolgen. Betone mit gleichen Ausgangsstoffen und gleichem w/z-Wert aber anderem Größtkorn gelten als ein Beton.

[3] Maßgebend ist, welche Forderung die größte Anzahl Proben ergibt.

Probenahme

Die Betonproben für die Druckfestigkeitsprüfung von Beton nach Eigenschaften müssen etwa gleichmäßig über die Betonierzeit verteilt und aus verschiedenen Lieferfahrzeugen entnommen werden, wobei aus jeder Probe ein Probekörper herzustellen ist.

Tabelle 10.8.2.b: Annahmekriterien für die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung [1] der Baustelle (Beton nach Eigenschaften – Transportbeton)

Anzahl „n“ der Einzelwerte	Mittelwert [2] f_{cm} (Kriterium 1) [N/mm²]	Jeder Einzelwert f_{ci} (Kriterium 2) [N/mm²]	
		ÜK 1 und 2	ÜK 3
3 bis 4	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1$	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$	$\geq 0{,}9 \cdot f_{ck}$
5 bis 6	$f_{cm} \geq f_{ck} + 2$		
> 6	$f_{cm} \geq f_{ck} + (1{,}65 - \frac{2{,}58}{\sqrt{n}}) \cdot \sigma$ [3]		

1) Wenn nicht anders vereinbart, Prüfung im Alter von 28 Tagen.
2) Mittelwert von „n“ nicht überlappenden Einzelwerten. Grundsätzlich können vorhandene Prüfergebnisse in kleinere Gruppen aufeinander folgender Werte (n ≥ 3) aufgeteilt werden. Die Annahmekriterien werden entsprechend der gewählten Anzahl „n“ angewendet.
3) Schätzwert σ der Standardabweichung der Stichprobe für n ≥ 35, wobei σ ≥ 3 N/mm² für Überwachungsklasse 2 und σ ≥ 5 N/mm² für Überwachungsklasse 3 gilt. Bei Stichproben n ≥ 7 und ≤ 34 gilt σ ≥ 4 N/mm².

Der Beton ist anzunehmen, wenn sowohl das Mittelwert-Kriterium (Kriterium 1) als auch das Einzelwert-Kriterium (Kriterium 2) für eine Reihe von „n“ Einzelwerten nach Tabelle 10.8.2.b erfüllt werden. Kann der Nachweis nicht erbracht werden, darf die Beurteilung der Festigkeit am Bauwerk oder an Bauteilen nach DIN EN 13791 erfolgen (siehe BTD-Kapitel 11.3).

10.8.3 Überwachung von Beton nach Zusammensetzung

Bei Beton nach Zusammensetzung ist das Bauunternehmen für den Nachweis der Konformität des Betons verantwortlich.

Die Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit von Beton nach Zusammensetzung sind in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 enthalten (siehe BTD-Kapitel 7.2.2).

Tabelle 10.8.3.a: Prüfhäufigkeiten für Beton nach Zusammensetzung

Prüfgegenstand	Mindestprüfhäufigkeit für Überwachungsklasse		
	1	2	3
Lieferschein	■ jedes Lieferfahrzeug		
Konsistenzmessung [1)]	■ beim ersten Einbringen jeder Betonzusammensetzung ■ bei Herstellung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung ■ bei Prüfung des Luftgehaltes ■ in Zweifelsfällen		
Frischbetonrohdichte von Leicht- und Schwerbeton	■ bei Herstellung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung		
Rohdichte von erhärtetem Leicht- oder Schwerbeton	■ an jedem Probekörper für die Festigkeitsprüfung ■ in Zweifelsfällen		
Druckfestigkeit an in Formen hergestellten Probekörpern	■ siehe Tabelle 7.2.3.a ■ in Zweifelsfällen		
Luftgehalt von Luftporenbeton	■ nicht zutreffend	■ zu Beginn jedes Betonierabschnitts ■ in Zweifelsfällen	
Frischbetontemperatur	■ in Zweifelsfällen	■ bei Lufttemperaturen < 5 °C und > 30 °C beim Einbau des Betons	
Andere Eigenschaften	■ in Übereinstimmung mit Normen, Richtlinien oder wie vorab vereinbart		

[1)] Zusätzlich Augenscheinprüfung der Konsistenz als Stichprobe für die Überwachungsklasse 1 bzw. an jedem Lieferfahrzeug für die Überwachungsklassen 2 und 3.

10.8.4 Häufigkeit der Prüfungen an Standardbeton

- Lieferschein: jedes Lieferfahrzeug
- Gleichmäßigkeit des Betons: stichprobenartig nach Augenschein
- Konsistenz: stichprobenartig nach Augenschein, Konsistenzmessung in Zweifelsfällen

10.8.5 Andere Betoneigenschaften

Sind bei Beton nach Eigenschaften oder Beton nach Zusammensetzung andere oder besondere Eigenschaften nachzuweisen, erfolgt der Umfang der Überwachungsprüfung in Übereinstimmung mit entsprechenden Normen oder Richtlinien bzw. ist im Einzelfall festzulegen.

11 Prüfen von Beton

Die Prüfung von Beton ist geregelt in den Normenreihen:

- DIN EN 12350 (Frischbeton)
- DIN EN 12390 (Festbeton)
- DIN EN 12504 und DIN EN 13791, einschließlich Änderung A20 des nationalen Anhangs (Prüfung bzw. Bewertung von Beton in Bauwerken)

Tabelle 11.a: Übersicht über die Prüfnormen

DIN EN 12350 Prüfung von Frischbeton	DIN EN 12390 Prüfung von Festbeton	DIN EN 12504 Prüfung von Beton in Bauwerken
Teil 1: Probenahme Teil 2: Setzmaß Teil 3: Setzzeitmaß in der Vebe-Prüfung Teil 4: Verdichtungsmaß Teil 5: Ausbreitmaß Teil 6: Frischbetonrohdichte Teil 7: Luftgehalt – Druckverfahren Teil 8: Selbstverdichtender Beton – Setzfließmaß Teil 9: Selbstverdichtender Beton – Auslaufzeit Teil 10: Selbstverdichtender Beton – L-Kasten-Versuch Teil 11: Selbstverdichtender Beton – Sedimentationsstabilität im Siebversuch Teil 12: Selbstverdichtender Beton – Blockierring-Versuch	Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern Teil 4: Bestimmung der Druckfestigkeit - Anforderungen an Prüfmaschinen Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern Teil 7: Dichte von Festbeton Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, Abwitterung (DIN CEN/TS 12390-9 / DIN SPEC 91167) Teil 10: Relativer Karbonatisierungswiderstand von Beton (DIN CEN/TS 12390-10) Teil 11: Bestimmung des Chloridwiderstandes von Beton	Teil 1: Bohrkernproben – Herstellung, Untersuchung und Prüfung unter Druck Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung – Bestimmung der Rückprallzahl Teil 3: Bestimmung der Ausziehkraft Teil 4: Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit

11.1 Prüfen von Frischbeton

11.1.1 Probenahme

Bei der Entnahme von Frischbetonproben nach DIN EN 12350-1 wird zwischen Sammelproben und Stichproben unterschieden:

- Sammelprobe: Betonmenge aus mehreren Einzelproben, die gleichmäßig verteilt über die Mischerfüllung oder Betonmasse entnommen und gründlich durchgemischt werden. Sammelproben aus Transportbetonfahrzeugen sollten aus mindestens 4 Einzelproben bestehen.
- Stichprobe: Betonmenge aus einer oder mehreren Einzelproben, die einem Teil der Mischerfüllung oder Betonmasse entnommen und gründlich durchgemischt werden. Für Stichproben aus frei fallendem Betonstrom sind die Einzelproben so zu entnehmen, dass sie für die Breite und Tiefe des Stroms repräsentativ sind.

Die Probemenge muss mindestens 1,5-mal so groß sein, wie die für die Prüfungen erforderliche Menge.

11.1.2 Konsistenz

Tabelle 11.1.2.a: Anwendungsbereiche der Verfahren zur Konsistenzbestimmung nach DIN EN 12350

Verfahren der Konsistenzbestimmung	Anwendungsbereich nach DIN EN 12350	
	zulässiges Größtkorn	Messbereich
Setzmaß	40 mm	10 bis 210 mm
Vebe-Prüfung	63 mm	5 bis 30 s
Verdichtungsmaß	63 mm	1,04 bis 1,46
Ausbreitmaß	63 mm	340 bis 620 mm

Die bevorzugten Prüfverfahren sind in Deutschland die Prüfung des Ausbreitmaßes und für steifere Betone (Ausbreitmaß ≤ 340 mm) die Prüfung des Verdichtungsmaßes.

Ausbreitmaß (DIN EN 12350-5)
Der Frischbeton wird in eine Form, die auf einem Ausbreittisch steht, eingebracht. Nach Entfernen der Form wird die bewegliche Tischplatte 15-mal bis zur Begrenzung angehoben und wieder fallen gelassen. Das Ausbreitmaß wird parallel zu den Tischkanten auf 10 mm genau gemessen (d_1, d_2). Zusätzlich wird der Beton optisch auf evtl. auftretende Entmischungen geprüft.

- Form: Hohlkegelstumpf $d_u = (200 \pm 2)$ mm, $d_o = (130 \pm 2)$ mm, $h = (200 \pm 2)$ mm
- Einbringen: 2 Lagen mit jeweils 10 leichten Ausgleichsstößen mit dem Stößel
- Entfernen der Form: 30 s nach dem Abstreichen des Betons, hochziehen in 1 bis 3 s
- Fallschläge mit der Tischplatte: 15 Schläge, alle 1 bis 3 s ein Schlag
- Ausbreitmaß [mm]: $(d_1 + d_2) / 2$

Diese Prüfung ist nicht auf selbstverdichtenden Beton anzuwenden (siehe BTD-Kapitel 11.1.5).

Verdichtungsmaß (DIN EN 12350-4)

Der Beton wird mit einer Kelle in einen Behälter gegeben, wobei jegliche Verdichtung zu vermeiden ist. Nach Befüllen des Behälters wird die Oberfläche des Betons mit dem Rand des Behälters bündig abgestrichen. Der Beton wird durch Vibration verdichtet. Die Abstände zwischen der Oberfläche des verdichteten Betons und den Oberkanten der 4 Seitenmitten des Behälters werden auf 1 mm genau gemessen und der Mittelwert s_m bestimmt.

- Behälter: Bodenfläche (200 ± 2) mm x (200 ± 2) mm, $h = (400 \pm 2)$ mm
- Verdichtungsmaß [-]: $c = h / (h - s_m)$

Setzmaß (DIN EN 12350-2)

Der Frischbeton wird in einer Form durch manuelles Stampfen verdichtet. Die Form wird hochgezogen, das Setzmaß (h) des Betons gemessen und auf 10 mm genau angegeben.

- Form: Hohlkegelstumpf $d_u = (200 \pm 2)$ mm, $d_o = (100 \pm 2)$ mm, $h = (300 \pm 2)$ mm
- Einbringen: 3 Lagen mit jeweils 25 Stampfstößen
- Entfernen der Form: Hochziehen innerhalb von 2 bis 5 s
- Setzmaß [mm]: Differenz zwischen Ausgangshöhe und Höhe des Betons nach Hochziehen der Form

Setzzeit (Vebe-Prüfung), (DIN EN 12350-3)

Auf einem Rütteltisch wird Frischbeton in eine in einem zylindrischen Behälter stehende Setzform eingefüllt und verdichtet. Nach Entfernen der Form wird eine durchsichtige Scheibe über den Beton geschwenkt und gesenkt, bis sie den Beton berührt. Das Setzmaß des Betons wird aufgezeichnet. Nach Einschalten des Rütteltisches wird die Setzzeit

(Vebe-Zeit) als Zeit [s] zwischen Rüttelbeginn und vollständigem Bedekken der Scheibe mit Zementleim auf 1 s genau gemessen.

- Zylindrischer Behälter (auf Rütteltisch) d = (240 ± 5) mm, h = (200 ± 2) mm
- Form: Hohlkegelstumpf d_u = (200 ± 2) mm, d_o = (100 ± 2) mm, h = (300 ± 2) mm
- Entfernen der Form: Hochziehen innerhalb von 2 bis 5 s
- Einbringen: 3 Lagen mit jeweils 25 Stampfstößen

Festlegung der Konsistenz

Die Konsistenz darf entweder durch eine Konsistenzklasse oder in besonderen Fällen durch einen Zielwert festgelegt werden. Zulässige Abweichungen für Zielwerte der Konsistenz für das Ausbreit- und Verdichtungsmaß ergeben sich nach Tabelle 11.1.2.b.

Tabelle 11.1.2.b: Zulässige Abweichungen der Zielwerte von Ausbreit- und Verdichtungsmaß

Eigenschaft	Prüfverfahren			
	Ausbreitmaß	Verdichtungsmaß c		
Zielwertbereiche	alle Werte	≥ 1,26	1,25…1,11	≤ 1,10
Abweichung	± 30 mm [1)]	± 0,10	± 0,08	± 0,05

[1)] Bei Sichtbeton ≤ ± 20 mm (siehe Tabelle 12.1.2.a).

Probenahme für die Konsistenzbestimmung

- Die Konsistenzbestimmung muss zum Zeitpunkt der Verwendung des Frischbetons oder – bei Transportbeton – zum Zeitpunkt der Frischbetonlieferung durchgeführt werden.
- Entnahme einer Stichprobe aus dem Fahrmischer:
  - nach dem Entladen von ca. 0,3 m^3 Beton
  - alternativ: zu Beginn der Entladung, wenn der Beton gut durchgemischt ist und eine Änderung des Wassergehaltes im Frischbeton ausgeschlossen werden kann

11.1.3 Frischbetonrohdichte

Zur Bestimmung der Frischbetonrohdichte nach DIN EN 12350-6 wird der Frischbeton in einem biegesteifen und wasserdichten Behälter verdichtet und gewogen. Das Verhältnis von Masse Betonprobe m [kg] und Behältervolumen V [m^3] ergibt die Frischbetonrohdichte D und ist auf 10 kg/m^3 genau anzugeben.

- Behältervolumen: ≥ 5 l, kleinste Abmessung 150 mm
- Einbringen: je nach Konsistenz ≥ 2 Lagen, lagenweise verdichten; selbstverdichtenden Beton in einem Arbeitsgang ohne mechanische oder händische Verdichtung in den Behälter füllen
- Die Messgenauigkeit der Waage muss 10 g betragen
- Frischbetonrohdichte D [kg/m³]: $D = m / V$

11.1.4 Luftgehalt

Die Bestimmung des Luftgehaltes erfolgt für Normal- und Schwerbeton nach DIN EN 12350-7, für Leichtbeton nach ASTM C 173/C 173M. DIN EN 12350-7 beschreibt das Wassersäulenverfahren und das Druckausgleichsverfahren. In Deutschland wird vor allem das Druckausgleichsverfahren angewendet.

Druckausgleichsverfahren
Zwischen einem mit Beton und einem mit Druckluft gefüllten Behälter wird Druckausgleich hergestellt. Der scheinbare Luftgehalt der Betonprobe A_1 wird an einem Manometer abgelesen. Der tatsächliche Luftgehalt A ist auf 0,1 Vol.-% genau anzugeben.

- Behältervolumen: ≥ 5 l
- Einbringen: je nach Konsistenz ≥ 1 Lage, lageweise verdichten; selbstverdichtenden Beton ohne mechanische Verdichtung in einem Arbeitsgang in den Behälter füllen
- Luftgehalt A [Vol.- %]: $A = A_1 - G$

  G: Korrekturfaktor der Gesteinskörnung

11.1.5 Prüfung von selbstverdichtendem Beton (SVB)

Die Prüfung der Frischbetoneigenschaften von SVB ist in DIN EN 12350, Teile 8 bis 12 geregelt (siehe Tabelle 11.a).

Setzfließversuch
DIN EN 12350-8 beschreibt die Messung des Setzfließmaßes SF und der Auslaufzeit t_{500} als Maß für die ungehinderte Fließ- und Füllfähigkeit des Frischbetons mit Größtkorn $D_{max} \leq 40$ mm.

Gemessen werden die Zeit t_{500} [s], mit der der Betonkuchen den Durchmesser von 500 mm erreicht zur Beurteilung der relativen Viskosität sowie der Enddurchmesser des Betonkuchens als Setzfließmaß SF [mm].Der Frischbeton wird in eine Form, die auf einer quadratischen

Metallplatte (900 mm) mit Kreismarkierungen bei 210 mm und 500 mm steht, eingebracht. Nach Abheben der Form wird die Zeit bis zum Erreichen der 500 mm-Marke auf 0,1 s genau gemessen. Das Setzfließmaß SF wird über die Messung des größten Ausbreitdurchmessers und des dazu rechtwinkligen Ausbreitdurchmessers (d_1, d_2) mit einer Genauigkeit von 10 mm bestimmt. Zusätzlich wird der Beton auf evtl. auftretende Entmischungen geprüft.

- Form: Hohlkegelstumpf d_u = (210 ± 2) mm, d_o = (100 ± 2) mm, h = (300 ± 2) mm
- Einbringen: ohne Verdichtung und Erschütterung
- Entfernen der Form: Hochziehen in 1 bis 3 s, Hochziehen spätestens 30 s nach dem Abstreichen des Betons
- Wiederholung der Prüfung, falls die Differenz der beiden Messungen d_1 und d_2 > 50 mm ist.
- Setzfließmaß SF [mm]: $SF = (d_1 + d_2) / 2$

Blockierringversuch

DIN EN 12350-12 beschreibt die Messung des Fließvermögens von selbstverdichtendem Beton (Größtkorn $D_{max} \leq 40$ mm) mit Behinderung durch Bewehrung und Einengungen. Der Blockierring-Versuch ist eine Alternative zum L-Kasten-Versuch nach EN 12350-10.

Die Prüfung wird analog zum Setzfließversuch durchgeführt, zusätzlich mit Behinderung durch einen Blockierring mit breiten (59 mm) oder engen (41 mm) Stababständen. Letztere simulieren verstopfende Bewehrung.

Gemessen werden das Setzfließmaß SF_J [mm] bei Behinderung, die Blockierneigung PJ [mm] sowie die Ausbreitgeschwindigkeit t_{500J} mit einer Genauigkeit von 0,5 s. Zusätzlich wird der Beton auf evtl. auftretende Entmischungen geprüft.

Die Blockierneigung wird durch das Messen der relativen Höhendifferenzen der Betonoberfläche innerhalb (Δh_0) und außerhalb (Δhx_1, Δhx_2, Δhy_1, Δhy_2) des Blockierrings auf 1 mm genau bestimmt.

- Blockierring d = 300 mm, h = 125 mm mit senkrechten Stäben im Abstand von 41 mm oder 59 mm
- Blockierring außerhalb der Hohlkegelstumpfform auf die Metallplatte setzten
- Einbringen: ohne Verdichtung und Erschütterung

- Entfernen der Form: Hochziehen in 1 bis 3 s, spätestens 30 s nach dem Abstreichen des Betons
- Setzfließmaß mit Blockierring [mm]: $SF_J = (d_1 + d_2) / 2$
- Blockierneigung [mm]: $PJ = (\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2}) / 4 - \Delta h_0$

d_1, d_2 [mm]: größter bzw. rechtwinklig dazu gemessener Ausbreitdurchmesser

Δh_{x1}, Δh_{x2}, Δh_{y1}, Δh_{y2} [mm]: Differenz der Höhe zwischen Oberkante Blockierring und festgelegten Punkten des Betons außerhalb des Blockierrings in rechtwinkligen Richtungen x und y

Δh_0 [mm]: Differenz der Höhe zwischen Oberkante Blockierring und des Betons, innerhalb des Blockierrings im Mittelpunkt

L-Kasten-Versuch

DIN EN 12350-10 beschreibt die Messung der Fließfähigkeit und Blockierneigung von SVB bei Behinderungen. Im Versuch fließt Frischbeton zwischen vertikal angeordneten Stäben aus einem L-förmigen Kasten. Gemessen wird die Höhe des Betons im vertikalen Bereich (H_1) und am Ende des horizontalen Bereichs (H_2). Das Verhältnis der Höhen ist ein Maß für das Fließvermögen PL und ist mit einer Genauigkeit von 0,05 angegeben.

- Form: Kastenform h = 600 mm, b = 200 mm, t = 100 mm am unteren Ende mit verschließbarer Auslauföffnung h = 150 mm, b = 200 mm und rechtwinklig angesetztem Auslaufkasten gleichen Querschnitts, l = 700 mm
- Vorsatz mit 3 oder 2 Stahlstäben im Abstand von 41 mm bzw. 59 mm zum Blockieren des Auslaufs
- Einbringen: ohne Verdichtung und Erschütterung
- Öffnen des Kastens am Auslauf: (60 ± 10) s nach dem Befüllen
- Fließvermögen PL (passing ability ratio): $PL = H_2 / H_1$

  H_1 [mm]: Mittelwert der Betonhöhe im vertikalen Bereich des Kastens, gemessen an drei Stellen mit 1 mm genau

  H_2 [mm]: Mittelwert der Betonhöhe am Ende des horizontalen Bereiches des Kastens, gemessen an drei Stellen mit 1 mm genau

Auslauftrichter-Versuch
DIN EN 12350-9 beschreibt die Messung der Viskosität und Füllfähigkeit von SVB über die Auslauftrichter-Fließdauer t_v [s] eines Frischbetons mit Größtkorn $D_{max} \leq 22{,}4$ mm. Die Auslauftrichter-Fließdauer t_v ist auf 0,5 s genau anzugeben.

- Form: rechteckiger Trichter h = 450 mm, b = 75 mm, mit Verjüngung von 515 mm auf 65 mm und verschließbarem Auslauf h = 150 mm
- Einbringen: ohne Verdichtung und Erschütterung
- Öffnen der Klappe des Trichters: (10 ± 2) s nach dem Befüllen
- Messen der Zeit t_v auf 0,1 s genau bis erstmals der Blick durch den Trichterauslauf auf den darunterliegenden Behälter möglich ist.

Auslaufkegel-Versuch
In Anhang M der SVB-Richtlinie wird die Prüfung des Kegelsetzfließmaßes SF_{FC} [mm] und der Kegelauslaufzeit t_{FC} [s] mittels Auslaufkegel beschrieben. Das Kegelsetzfließmaß wird über die Messung des größten Ausbreitdurchmessers d_1 und des rechtwinklig dazu gemessenen Ausbreitdurchmessers d_2 mit einer Genauigkeit von 10 mm angegeben.

- Form: offener Hohlkegelstumpf h = 390 mm, Durchmesser oben = 194 mm, Durchmesser unten = 63 mm, mit verschließbarem Auslauf. Auslaufkegel endet an einer Aufhängevorrichtung 250 mm über einer Bodenplatte mindestens 900 x 900 mm.
- Einbringen: mindestens 6 l Beton ohne Verdichtung und Erschütterung
- Öffnen der Klappe des Trichters: 10 s nach dem Befüllen
- Messen der Zeit t_{FC} auf 0,5 s genau bis erstmals der Blick durch den Trichterauslauf auf den Beton auf der darunterliegenden Platte möglich ist.
- Messen des größten Ausbreitdurchmessers d_1 und des im rechten Winkel dazu gemessenen Ausbreitdurchmessers d_2, jeweils gerundet auf 10 mm.
- Kegelsetzfließmaß SF_{FC} [mm]: $SF_{FC} = (d_1 + d_2) / 2$

Siebversuch zur Bestimmung der Sedimentationsstabilität
DIN EN 12350-11 beschreibt die Prüfung der Sedimentationsstabilität von SVB mit dem Siebversuch. Es wird der Mengenanteil des Frischbetons, der innerhalb einer festgelegten Zeit durch ein Sieb gelangt, ermittelt. Der Versuch ist nicht anwendbar bei Betonen, die Fasern oder leichte Gesteinskörnungen enthalten.

Der Siebdurchgang ist ein Maß für die Neigung zum Entmischen SR [%] und wird mit einer Genauigkeit von 1 % angegeben.

- Sieb mit mindestens 300 mm Durchmesser und 5 mm Maschenweite mit Auffangbehälter
- 10 kg-Waage mit einer Genauigkeit von 10 g
- Probebehälter mit mindestens 11 Liter Fassungsvermögen und 10 Liter-Marke
- Betonprobe (10 ± 0,5) l im Probebehälter 15 Minuten erschütterungsfrei stehen lassen und Wasserabsonderung beobachten
- Stetiges Gießen der Betonprobe aus einer Höhe von (500 ± 50) mm auf die Siebmitte
- Bestimmung der Masse des Durchgangs nach (120 ± 5) s
- Entmischung SR [%]: $SR = 100 \times (m_{ps} - m_p) / m_c$

m_{ps} – Masse des Siebauffangbehälters einschließlich der Siebdurchgangsmenge [g]

m_p – Masse des Siebauffangbehälters [g]

m_c – ursprüngliche Masse des auf das Sieb gegebenen Betons [g]

11.2 Prüfen von Festbeton

11.2.1 Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen

Die Herstellung und Lagerung von Probekörpern erfolgt nach DIN EN 12390-2 einschließlich Änderung A20 des nationalen Anhangs.

Der Beton wird in einer oder mehreren Lagen in die Form gefüllt und verdichtet. In Abhängigkeit von Konsistenz und Verdichtungsverfahren ist die Anzahl der Schichten so zu wählen, dass vollständige Verdichtung erreicht wird. Für die Verdichtung werden Innenrüttler, Rütteltisch oder Stampfer (25 Stöße je Schicht) verwendet. Die Verdichtung erfolgt so lange, bis der Beton vollständig verdichtet ist. SVB ist ohne mechanische Verdichtung in einem Arbeitsgang in die Form zu füllen. Bei der Herstellung von Probekörpern darf ein Aufsatzrahmen verwendet werden.

Die Probekörperlagerung erfolgt im Wasserbad (Referenzverfahren) oder in einer Feuchtekammer bis zum Prüftermin.

Alternativ dazu ist im nationalen Anhang NA der DIN EN 12390-2/A20 die in Deutschland übliche Lagerung von Probekörpern für die Druckfestigkeits- und Elastizitätsmodulprüfung geregelt:

- Probekörper nach Herstellung für (24 ± 2) h bei (20 ± 2) °C gegen Austrocknen geschützt lagern
- Probekörper nach (24 ± 2) h entformen
- Anschließend die entformten Probekörper mindestens 6 d bei (20 ± 2) °C auf Rosten im Wasserbad oder auf einem Lattenrost in der Feuchtekammer mit ≥ 95 % relative Luftfeuchte lagern
- Probekörper mindestens 21 d vor dem Prüftermin aus dem Wasserbad bzw. der Feuchtekammer entnehmen und bei (20 ± 2) °C und (65 ± 5) % relative Luftfeuchte auf einem Lattenrost lagern und gegen Austrocknen schützen

11.2.2 Prüfung der Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit wird nach DIN EN 12390-3 an Zylindern, Würfeln oder Bohrkernen geprüft. Sie ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$f_c = F / A_c$$

f_c - Druckfestigkeit [MPa] oder [N/mm²]

F - Höchstkraft beim Bruch [N]

A_c - Fläche des Probenquerschnitts [mm²]

Die Druckfestigkeit von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ist für Würfel mit 150 mm Kantenlänge nach Wasserbadlagerung ($f_{c,cube}$) mit einer Genauigkeit von 0,1 MPa (N/mm²) anzugeben.

Erfolgt die Lagerung der Würfel nach DIN EN 12390-2/A20 („Trockenlagerung“), muss die geprüfte Festigkeit $f_{c,dry}$ auf die Referenzlagerung (Wasserbadlagerung) nach Tabelle 11.2.2.a umgerechnet werden.

Tabelle 11.2.2.a: Umrechnung von Würfel-Druckfestigkeiten

Druckfestigkeitsklasse	Würfel 150 mm
Normalbeton ≤ C50/60	$f_{c,cube} = 0{,}92 \cdot f_{c,dry}$
hochfester Normalbeton ≥ C55/67	$f_{c,cube} = 0{,}95 \cdot f_{c,dry}$

Wenn Würfel mit einer Kantenlänge von 100 mm nach DIN EN 12390-2/ A20 ($f_{c,dry}$) geprüft werden, sind die Prüfwerte auf Würfel mit 150 mm Kantenlänge umzurechnen:

$$f_{c,dry\ (150\ mm)} = 0{,}97 \cdot f_{c,dry\ (100\ mm)}$$

Die Druckfestigkeit an Probekörpern ist grundsätzlich im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. Für besondere Anwendungen, bei Erfüllung bestimmter Bedingungen oder nach spezieller Lagerung (z. B. Wärmebehandlung) kann die Druckfestigkeit zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt geprüft werden (siehe Abschnitt 6.2.3).

11.2.3 Prüfung der Biegezugfestigkeit

Die Biegezugfestigkeit wird nach DIN EN 12390-5 an Balken mit quadratischem Querschnitt bestimmt. Geprüft wird entweder mit Zweipunkt-Lasteintragung oder mit mittiger Lasteintragung. Die Lasteintragung erfolgt über Rollen.

Die Biegezugfestigkeit ergibt sich bei Zweipunkt-Lasteintragung (zwei Einzellasten) aus folgender Gleichung:

$$f_{ct} = \frac{F \cdot l}{d_1 \cdot d_2^{\,2}}$$

Bei mittiger Lasteintragung ist die obige Formel für die Ermittlung der Biegezugfestigkeit mit dem Faktor 1,5 zu multiplizieren.

f_{ct}	- Biegezugfestigkeit [1)]	[MPa] oder [N/mm^2]
F	- Höchstlast	[N]
l	- Abstand zwischen den Auflagerrollen	[mm]
d_1	- Breite des Querschnitts	[mm]
d_2	- Höhe des Querschnitts	[mm]

Die Biegezugfestigkeit ist mit einer Genauigkeit von 0,1 MPa (N/mm^2) anzugeben.

[1)] Im Eurocode 2 Biegezugfestigkeit mit $f_{ct,fl}$ bezeichnet.

11.2.4 Prüfung der Spaltzugfestigkeit

Die Spaltzugfestigkeit wird nach DIN EN 12390-6 i.d.R. an Zylindern bestimmt und ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d}$$

f_{ct} - Spaltzugfestigkeit [1)] [MPa] oder [N/mm²]

F - Höchstlast [N]

L - Länge der Kontaktlinie des Probekörpers [mm]

d - angegebenes Querschnittsmaß [mm]

Die Spaltzugfestigkeit ist mit einer Genauigkeit von 0,05 MPa (N/mm²) anzugeben.

11.2.5 Prüfung der Dichte von Festbeton

Die Dichte von Festbeton kann nach DIN EN 12390-7 an der unbehandelten Probe, im wassergesättigten Zustand oder nach Trocknung im Wärmeschrank bestimmt werden:

$$D = m / V$$

D - Rohdichte [kg/m³]

m - Masse [kg]

V - Volumen [m³]

Die Dichte ist mit einer Genauigkeit von 10 kg/m³ anzugeben.

11.2.6 Prüfung der Wassereindringtiefe unter Druck

Wasser wird nach DIN EN 12390-8 unter Druck (500 kPa) auf die Oberfläche des Prüfkörpers aufgebracht. Nach Einwirken des Drucks über 72 Stunden wird der Probekörper gespalten, die größte Eindringtiefe gemessen und auf 1 mm genau angegeben. Das Mindestalter der Proben zu Prüfbeginn beträgt 28 Tage.

[1)] Im Eurocode 2 Spaltzugfestigkeit mit $f_{ct,sp}$ bezeichnet.

11.2.7 Prüfung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes

Zur Bestimmung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes gegen Abwitterung der Betonoberfläche sind nach DIN CEN/TS 12390-9 (DIN SPEC 91167) drei Prüfverfahren definiert (siehe Tabelle 11.2.7.a):

- Plattenprüfverfahren (Referenzverfahren)
- Würfelprüfverfahren (Alternativprüfverfahren)
- CF- und CDF-Prüfverfahren (Alternativprüfverfahren)

In Deutschland wird, sofern eine Prüfung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton gefordert wird, i.d.R. das CF- bzw. CDF-Verfahren (Capillary suction of De-icing chemicals and Freeze-thaw test) angewendet.

Tabelle 11.2.7.a: Verfahren zur Bestimmung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes nach DIN CEN/TS 12390-9 (DIN SPEC 91167)

	Plattenprüfverfahren (Referenzverfahren)	Würfelprüfverfahren	CF- bzw. CDF-Prüfverfahren
Prüfkörperabmessungen [mm]	150 x 150 x 50	100 x 100 x 100	150 x 150 x 70
Anzahl der Prüfkörper	4	4	5
Nachbehandlung [d] (in Schalung + 20°C Wasserbad)	7	7	7 (14) [1]
Lagerung [d] (in Klimakammer oder Klimaraum + 20 °C, 65% relative Luftfeuchte, Verdunstungsrate (45 ± 15), CO_2-Gehalt 300 bis 1000 ppmv	21	20	21±1 (42±1) [1]
Vorsättigung [d]	3	1	7
Beginn Frost-Tau-Wechsel [d]	31	28	35 / 63 [1]
Prüfmedium	entmineralisiertes Wasser oder 3 %ige NaCl-Lösung		
Prüfmethode	3 mm Medium aufstehend	untergetaucht	5 mm eingetaucht
Prüffläche	gesägte Seite	alle Würfeloberflächen	Schalungsseite
Anzahl Frost-Tau-Wechsel	56	56	CF-Test: 56 (28) [2]
			CDF-Test: 28
Zyklusdauer [h]	24	24	12
Temperaturintervall [°C]	+20 / -20	+20 / -15	+20 / -20
Rundungsgenauigkeit des Masseverlustes und Maßeinheit	0,02 kg/m²	0,1 M.-%	0,001 kg/m²

[1] Nach Norm können andere Nachbehandlungsbedingungen angewendet und die Probekörper auch abweichend von 28 Tagen geprüft werden. Entsprechend Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ der Bundesanstalt für Wasserbau (BWA) kann bei Nachweis der Festigkeit im Alter von 56 Tagen auch die Vorsättigung zu diesem Zeitpunkt beginnen.

[2] Abweichend von der Normfestlegung erfolgt die Beurteilung des Frost-Tau-Widerstandes in Deutschland nach 28 Frost-Tau-Wechseln.

11.2.8 Bestimmung des relativen Karbonatisierungswiderstandes von Beton

Nach DIN CEN/TS 12390-10 (Vornorm) wird in einer Langzeitprüfung von mindestens 2 Jahren der Karbonatisierungswiderstand eines Betons mit bekannter Festigkeit und bekanntem Verhalten am Verwendungsort (Umgebung, Umwelt) mit einem Beton gleicher Festigkeit aber unbekanntem Karbonatisierungswiderstand verglichen (Prüfbeton).

Die Prüfungen erfolgen bei CO_2-Konzentrationen von ca. 0,035 % oder regengeschützt unter natürlichen Witterungsbedingungen. Das Vergleichsergebnis dient der Beurteilung des Karbonatisierungswiderstandes des Prüfbetons bei gleichartigen Verwendungsbedingungen.

11.2.9 Bestimmung des Chloridwiderstandes von Beton

Die Durchlässigkeit von Beton für Chloride wird nach DIN EN 12390-11 bestimmt und durch einen Chloriddiffusionskoeffizienten in m^2/s ausgedrückt. Damit soll die Voraussage des Zeitpunkts des Erreichens kritischer Chloridwerte in bestimmten Bauteiltiefen ermöglicht werden.

- Probekörper: Würfel oder Zylinder mit 100 mm Kantenlänge bzw. Durchmesser
- Gesamtdauer: 4 Monate; Chlorideinwirkung mit 3 %iger NaCl-Lösung über 90 Tage
- Der Chloriddiffusionskoeffizient wird über das Konzentrationsgefälle der eingedrungenen Chloridmengen in den verschiedenen Probetiefen bestimmt. Die Chloridmenge wird durch schichtweises Abschleifen und Analyse des Schleifmehls ermittelt.

11.2.10 Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton unter Druckbelastung

Der Elastizitätsmodul (E-Modul) beschreibt den Widerstand des Betons gegenüber einer elastischen Verformung. Die Ermittlung des E-Moduls ist in DIN EN 12390-13 geregelt und dort als „Sekantenmodul“ bezeichnet. Dabei werden Probekörper axial druckbelastet (bis maximal ein Drittel der Betondruckfestigkeit f_c) und die auftretenden Spannungen und Dehnungen aufgezeichnet.

Zur Bestimmung des E-Moduls sind in DIN EN 12390-13 zwei Verfahren beschrieben.

- **Verfahren A:** 3 Vorbelastungszyklen zur Überprüfung des Versuchaufbaus und 3 Belastungszyklen. Bestimmung des anfänglichen E-Moduls $E_{C,0}$ und des stabilisierten E-Moduls $E_{C,S}$
- **Verfahren B:** Bestimmung des stabilisierten E-Moduls $E_{C,S}$ in 3 Belastungszyklen. Überprüfung des Versuchaufbaus erfolgt innerhalb der Belastungszyklen durch Vergleich der Dehnungen

Das Verfahren B ermöglicht die Bestimmung des E-Moduls in Analogie zur bisher gültigen DIN 1048-5.

Tabelle 11.2.10.a: Formelzeichen nach DIN EN 12390-13

Zeichen	Definition
$E_{C,0}$	anfänglicher E-Modul [MPa]
$E_{C,S}$	stabilisierter E-Modul [MPa]
f_c	Druckfestigkeit
ε_a	Dehnung bei oberer Prüfspannung [-]
ε_b	Dehnung bei unterer Prüfspannung [-]
ε_p	Dehnung bei Vorbelastungsspannung [-]
σ_a	Nennwert der oberen Prüfspannung [MPa]
σ_b	Nennwert der unteren Prüfspannung [MPa]
σ_p	Nennwert der Vorbelastungsspannung [MPa]

Tabelle 11.2.10.b: Verfahren zur Bestimmung des E-Moduls nach DIN EN 12390-13

		Verfahren A	Verfahren B
Bestimmter Kennwert		anfänglicher E-Modul $E_{C,0}$ stabilisierter E-Modul $E_{C,S}$	stabilisierter E-Modul $E_{C,S}$
Prüfkörperabmessungen [1]		bevorzugt Zylinder mit d/h =150/300 mm	
Lagerung der Prüfkörper [2]		nach DIN EN 12390-2 einschließlich A20	
Prüfalter		keine Vorgaben	
Bestimmung der Druckfestigkeit f_c vor Durchführung der E-Modulprüfung		nach DIN EN 12390-3 ≥ 1 Probekörper [2]	
Be-/Entlastungsgeschwindigkeit		0,4 bis 0,8 MPa/s	
Vorbelastungszyklen	Anzahl Zyklen	3	–
	Unterspannung	$0{,}5\ \text{MPa} \le \sigma_p \le 0{,}15\ f_c$	
	Oberspannung	$0{,}10\ f_c \le \sigma_b \le 0{,}15\ f_c$	
	Halteplateau	≤ 20 s jeweils bei Erreichen der Ober- bzw. Unterspannung	
Belastungszyklen	Anzahl Zyklen	3	
	Unterspannung	$0{,}10\ f_c \le \sigma_b \le 0{,}15\ f_c$	$0{,}5\ \text{MPa} \le \sigma_b \le 0{,}15\ f_c$
	Oberspannung	$\sigma_b = f_c / 3$	
	Halteplateau	≤ 20 s jeweils bei Erreichen der Ober- bzw. Unterspannung	
Berechnung des E-Moduls		$E_{C,0} = (\sigma_a{}^m - \sigma_b{}^m) / (\varepsilon_{a,1} - \varepsilon_{b,0})$ $E_{C,S} = (\sigma_a{}^m - \sigma_b{}^m) / (\varepsilon_{a,3} - \varepsilon_{b,2})$	$E_{C,S} = (\sigma_a{}^m - \sigma_p{}^m) / (\varepsilon_{a,3} - \varepsilon_{p,2})$
Bestimmung der Druckfestigkeit f_c nach Durchführung der E-Modulprüfung		■ nach DIN EN 12390-3 am Probekörper, an dem der E-Modul bestimmt wurde ■ Abweichungen > 20 % von der eingangs bestimmten Druckfestigkeit f_c sind im Prüfprotokoll zu vermerken	

[1] Auch andere Abmessungen sowie prismatische Probekörper sind möglich sofern d (Durchmesser oder Breite) ≥ 3,5 D_{max} und das Verhältnis der Probekörperlänge L zum Maß d im Bereich von L/d ≤ 4 liegt.

[2] Probekörper sollen hinsichtlich Art, Maßen, Herstellung und Nachbehandlung den Proben für die E-Modulprüfung entsprechen.

11.2.11 Rundungsgenauigkeit von Prüfergebnissen

Tabelle 11.2.11.a: Rundungsgenauigkeit von Prüfergebnissen

Prüfung	Rundungsgenauigkeit
Druckfestigkeit	0,1 MPa
Biegezugfestigkeit	0,1 MPa
Spaltzugfestigkeit	0,05 MPa
Dichte von Festbeton	10 kg/m^3
Wassereindringtiefe unter Druck	1 mm

11.2.12 Zusammenhang zwischen Druck-, Biegezug-, Spaltzug- und Zugfestigkeit

Grobe Abschätzung:

f_c	=	5 bis 9 · $f_{ct,fl}$
f_c	=	8 bis 15 · $f_{ct,sp}$
$f_{ct,fl}$	=	1,7 · $f_{ct,sp}$
$f_{ct,fl}$	=	2 · f_t
f_{ct}	=	0,9 · $f_{ct,sp}$

Mit:

- f_c - Druckfestigkeit
- $f_{ct,sp}$ - Spaltzugfestigkeit (in DIN EN 206-1 mit f_t bezeichnet)
- $f_{ct,fl}$ - Biegezugfestigkeit
- f_{ct} - Zugfestigkeit

Tabelle 11.2.12.a: Beispiele Druck- zu Biegezug- bzw. Spaltzugfestigkeit

f_c [N/mm^2]	Mittlerer Verhältniswert (Beispiele)			
	$f_c/f_{ct,fl}$ bei		$f_c/f_{ct,sp}$	
	Normalbeton	Splittbeton	Mittel	Streubereich
10	5	4	8,0	10,0 bis 6,7
20	5,9	4,7	9,5	11,8 bis 8,0
30	6,8	5,4	10,9	13,6 bis 9,1
40	7,5	6	12,1	14,8 bis 10,3
50	8,3	6,8	13,3	16,1 bis 11,4
60	9	7,5	14,5	17,2 bis 12,5

Tabelle 11.2.12.b: Beispiele Biegezug- zu Spaltzugfestigkeit

$f_{ct,fl}$ [N/mm²]	Zugehöriger Bereich von $f_{ct,sp}$ [N/mm²]	Verhältniswert $f_{ct,fl}/f_{ct,sp}$ (Beispiele)	
		Mittel	Einzelwerte
1	0,4 bis 0,7	2	2,5 bis 1,4
2	0,8 bis 1,4	1,9	2,5 bis 1,4
3	1,2 bis 2,3	1,8	2,5 bis 1,3
4	1,6 bis 3,2	1,6	2,5 bis 1,2
5	2,1 bis 4,1	1,6	2,4 bis 1,2
6	2,7 bis 5,1	1,5	2,2 bis 1,2

11.3 Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen

Die Prüfung von Beton in Bauwerken erfolgt nach DIN EN 12504, Teile 1 bis 4 (siehe Tabelle 11.a), die Bewertung nach DIN EN 13791, einschließlich A20, für folgende Anwendungsbereiche:

- Beton in Bauwerken und Fertigteilen
- Bewertung von Tragwerken wegen Umnutzung, Umbaus oder nach Schadenseintritt
- Bei mangelhafter Bauausführung oder Zweifeln an der Bauwerksfestigkeit
- Nach negativen Ergebnissen der Konformitäts- oder Annahmeprüfungen
- Konformität von Bauteilen nach Anforderung der jeweiligen Produktnorm

Die Verfahren nach DIN EN 13791, einschließlich A20, ersetzen nicht die Konformitätsprüfung nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 oder die Identitätsprüfung nach DIN EN 13670/DIN 1045-3. Sofern bei den Konformitäts- oder Identitätsprüfungen die erforderlichen Druckfestigkeiten nicht erreicht wurden oder keine repräsentativen Werte zu erwarten sind, darf die Bewertung der Bauwerksfestigkeit für den Tragfähigkeitsnachweis nach DIN EN 13791, einschließlich A20, erfolgen.

Zur Bewertung der Bauwerksfestigkeit sind nach DIN13791 folgende Prüfverfahren möglich:

- Indirekte (zerstörungsfreie) Prüfung (z. B. Rückprallhammerprüfung, Prüfung der Ultraschallgeschwindigkeit
- Direkte (zerstörende) Prüfung von Bohrkernen
- Kombination von direkten und indirekten Verfahren

11.3.1 Bestimmung der Bauwerksdruckfestigkeit

Die Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton $f_{ck,is}$ und die Zuordnung zu Druckfestigkeitsklassen der DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 erfolgt nach folgender Verfahrensweise (siehe Tabelle 11.3.1.a):

- 1. Auswahl des Prüfverfahrens
- 2. Abschätzung der charakteristischen Bauwerksdruckfestigkeit $f_{ck,is}$
- 3. Zuordnung zu einer Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2

Die Bohrkernprüfung gilt als Referenzverfahren. Die Prüfwerte sind auf 0,1 N/mm² anzugeben. Die Druckfestigkeit eines luftgelagerten Bohrkerns mit Nenndurchmesser 50 mm, 100 mm bzw. 150 mm darf der Druckfestigkeit eines bis zur Prüfung wassergelagerten Würfels mit 150 mm Kantenlänge gleichgesetzt werden

Tabelle 11.3.1.a: Abschätzung der charakteristischen Bauwerksfestigkeit und die Zuordnung zu Druckfestigkeitsklassen

Prüfverfahren	Basis des Bewertungsverfahrens	Anzahl [1] der Proben/Prüfstellen
Bohrkernprüfung nach DIN EN 12504-1 (Referenzverfahren)	Prüfung von Bohrkernen (Anzahl *n*) ■ d = 100 mm oder 150 mm ■ d < 100 mm möglich, d_{min} = 50 mm ■ Durchmesser d = Höhe h ■ luftgelagerte Bohrkerne	$n \geq 9$ oder $v_x > 0{,}20$ [3] (modifizierter Ansatz A)
		$3 \leq n \leq 8$ und $v_x \leq 0{,}20$ [3] (modifizierter Ansatz B)
Rückprallhammer nach DIN EN 12504-2 oder Ausziehkraft nach DIN EN 12504-3 oder Ultraschallgeschwindigkeit nach DIN EN 12504-4	Bezugskurve aus Korrelation mit Bohrkernfestigkeiten (≥ 18 Wertepaare)	Korrelation mit Bohrkernfestigkeiten $n \geq 15$
	vorgegebene Bezugskurve, angepasst auf aktuelles Festigkeitsniveau durch Korrelation mit Bohrkernfestigkeiten (≥ 9 Wertepaare)	
Rückprallhammer nach DIN EN 12504-2	Bezugsgerade W, aus Vergleich von Festigkeits- und Rückprall-Prüfungen an Würfeln (≥ 10 Würfel, luftgelagert)	
Rückprallhammer nach DIN EN 12504-2	Bezugstabelle in DIN EN 13791 (ohne Korrelation mit Bohrkernfestigkeiten)	$n \geq 9$

Bei den indirekten Prüfverfahren (Rückprallhammer-Prüfung, Prüfung der Ausziehkraft und Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit) werden andere physikalische Messgrößen ermittelt. Die Beziehung zwischen diesen Messgrößen und der Bohrkernfestigkeit ist zu bestimmen.

Bei der Rückprallhammer-Prüfung ist eine Korrelation zwischen Rückprallergebnissen und Festigkeitsprüfungen an Würfeln gegeben (Bezugsgerade W). Die direkte Zuordnung der Rückprallprüfergebnisse zur Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ist auch mit Hilfe einer Bezugstabelle möglich (siehe Tabelle 11.3.2.d).

Fußnoten auf der nächsten Seite oben ▶

	Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit $f_{ck,is}$ [2]	Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2
	$f_{ck,is} = f_{m(n),is} (1 - k_n \cdot v_x)$ [3]	zugeordnete Druckfestigkeitsklasse ■ bei Normal- und Schwerbeton nach Tabelle 11.3.2.b ■ Gefügedichter Leichtbeton nach Tabelle 11.3.2.c
	$f_{ck,is} = f_{m(n),is} \cdot k_3$ [4] oder [5] $f_{ck,is} = f_{is,niedrigst} + 4$ N/mm²	
	$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1{,}48 \cdot s$ [5] oder [6] $f_{ck,is} = f_{is,niedrigst} + 4$ N/mm²	
	-	zugeordnete Druckfestigkeitsklasse nach Tabelle 11.3.2.d [7]

Fußnoten zu Tabelle 11.3.1.a

1) Die Anzahl der Bohrkerne/Prüfungen richtet sich nach DIN EN 13791, Anhang NA 4.3.
   a) Bohrkerne:
      d ≥ 100 mm: 1-fache Anzahl
      d < 100 mm + Größtkorn ≤ 16 mm: 1,5-fache Anzahl
      d < 100 mm + Größtkorn > 16 mm: 2-fache Anzahl
   b) Zerstörungsfreie Prüfungen: mindestens 3-fache Anzahl
2) $f_{ck,is}$: charakteristische Druckfestigkeit des Bauwerksbetons
   f_{is}: Prüfergebnis der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons
   $f_{is,niedrigst}$: niedrigstes Prüfergebnis der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons
   $f_{m(n),is}$: Mittelwert von *n* Prüfergebnissen der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons
3) k_n: Statistikbeiwert in Abhängigkeit von der Anzahl n der Prüfergebnisse.
   Siehe Tabelle 11.3.1.b
   $v_x = s_x/f_{m(n),is}$ Variationskoeffizient der Stichprobe, Mindestwert: 0,08.
4) k_3 : Beiwert in Abhängigkeit von der Anzahl der Prüfergebnisse. Siehe Tabelle 11.3.1.c
5) s: Standardabweichung der Prüfergebnisse, Mindestwert: 2 N/mm²
6) Der niedrigere der beiden Werte ist maßgebend.
7) Nicht für Leichtbetone und hochfeste Betone; Karbonatisierungstiefe ≤ 5 mm; nicht für geschädigte Betonoberfächen; Zuordnung nur für Tragfähigkeitsnachweis.

Tabelle 11.3.1.b Statistikbeiwerte k_n für charakteristische Werte (5% Fraktile)

n	3	4	5	6	8	10	20	30	> 30
k_n	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Tabelle 11.3.1.c Beiwert k_3 für eine kleine Anzahl von Prüfergebnissen

n	k_3
3	0,70
4 bis 5	0,75
6 bis 8	0,80

11.3.2 Beurteilung des Betons bei negativen Konformitätsprüfungen

Bei Zweifeln wegen negativer Ergebnisse der Konformitäts- oder Annahmeprüfungen darf die Bewertung des Bauwerksbetons hinsichtlich ausreichender Festigkeit nach den in Tabelle 11.3.2.a genannten Verfahren erfolgen.

Tabelle 11.3.2.a: Bewertung der Bauwerksfestigkeit bei angezweifelter Konformität

Größe des Prüfbereichs	Basis der Bewertung	Anzahl der Proben/Prüfstellen	Bewertungskriterien [2]	Beurteilung
Große Betonmenge – viele Betonchargen	Bohrkernprüfungen	$n \geq 15$	$f_{m(n),is} \geq 0{,}85\,(f_{ck} + 1{,}48 \cdot s)$ und $f_{is,niedrigst} \geq 0{,}85\,(f_{ck} - 4)$	im Prüfbereich: ■ ein Beton mit ausreichender Festigkeit ■ ein Beton nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2
Begrenzte Betonmenge – wenige Betonchargen	indirekte Prüfungen [1] und zusätzlich Bohrkernprüfungen [1] [3]	$n \geq 15$ (Indirekte Prüfung)	$f_{is,niedrigst} \geq 0{,}85\,(f_{ck} - 4)$	im Prüfbereich: ■ ein Beton mit angemessener Festigkeit ■ Beton entstammt einer übereinstimmenden Gesamtheit
		$n \geq 2$ (Bohrkern)		
	Bohrkernprüfungen	$n = 2$		

[1] Bohrkernprüfung + indirekte Prüfung als Alternativverfahren nach Vereinbarung zwischen den Vertragsparteien.

[2] f_{ck}: charakteristische Druckfestigkeit von genormten Probekörpern
$f_{is,niedrigst}$: niedrigstes Prüfergebnis der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons
$f_{m(n),is}$: Mittelwert von n Prüfergebnissen der Druckfestigkeit des Bauwerksbetons

[3] Entnahme der Bohrkerne aus dem Bereich mit den niedrigsten Prüfergebnissen der indirekten Prüfungen.

Tabelle 11.3.2.b: Charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Normal- und Schwerbeton im Bauwerk nach DIN EN 13791/A20 für die Einstufung in Druckfestigkeitsklassen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	Charakteristische Mindestdruckfestigkeit von Normal- und Schwerbeton im Bauwerk [N/mm²] [1]	
	$f_{ck,is,Zylinder}$	$f_{ck,is,Würfel}$
C8/10	7	9
C12/15	10	13
C16/20	14	17
C20/25	17	21
C25/30	21	26
C30/37	26	31
C35/45	30	38
C40/50	34	43
C45/55	38	47
C50/60	43	51
C55/67	47	57
C60/75	51	64
C70/85	60	72
C80/95	68	81
C90/105	77	89
C100/115	85	98

[1] Druckfestigkeit von Bauwerksbeton = 85 % der charakteristischen Druckfestigkeit von genormten Probekörpern.

Tabelle 11.3.2.c: Charakteristische Mindestdruckfestigkeit von gefügedichtem Leichtbeton im Bauwerk nach DIN EN 13791/A20 für die Einstufung in Druckfestigkeitsklassen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	Charakteristische Mindestdruckfestigkeit von gefügedichtem Leichtbeton im Bauwerk [N/mm²] [1]	
	$f_{ck,is,Zylinder}$	$f_{ck,is,Würfel}$
LC8/9	7	8
LC12/13	10	11
LC16/18	14	15
LC20/22	17	19
LC25/28	21	24
LC30/33	26	28
LC35/38	30	32
LC40/44	34	37
LC45/50	38	43
LC50/55	43	47
LC55/60	47	51
LC60/66	51	56
LC70/77	60	65
LC80/88	68	75

[1] Druckfestigkeit von Bauwerksbeton = 85 % der charakteristischen Druckfestigkeit von genormten Probekörpern.

Tabelle 11.3.2.d: Rückprallzahlen nach DIN EN 13791/A20 für die Einstufung in Druckfestigkeitsklassen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Druckfestigkeitsklasse	Mindestwert für jede Messstelle [Skalenteile]	Mindestwert für jeden Prüfbereich [Skalenteile]
C8/10	26	30
C12/15	30	33
C16/20	32	35
C20/25	35	38
C25/30	37	40
C30/37	40	43
C35/45	44	47
C40/50	46	49
C45/55	48	51
C50/60	50	53
C55/67	53	57
C60/75	57	60
C70/85	62	65
C80/95	66	69

Beispiel 1: Bewertung der Bauwerksfestigkeit durch Bohrkernprüfung mittels modifiziertem Ansatz B, Standardabweichung ≤ 0,20)

Gegeben: 6 Bohrkerne, $f_{m(6),is} = 35$ N/mm²; $f_{is,niedrigst} = 29$ N/mm²

Gesucht: Charakteristische Bauwerksfestigkeit und Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Lösung: $n = 6 \Rightarrow k_3 = 0{,}8$ (Tabelle 11.3.1.a und 11.3.1.c)

$f_{ck,is} = 35 \cdot 0{,}8 = 28$ N/mm² oder

$f_{ck,is} = 29 + 4 = 33$ N/mm²

maßgebend: $f_{ck,is} = 28$ N/mm² $\Rightarrow$ Tabelle 11.3.2.b: Druckfestigkeitsklasse C 25/30

Beispiel 2: Zweifel an Konformität, begrenzte Betonmenge (Beton-Stütze)

Gegeben: 2 Bohrkerne Ø 50 mm, Bohrkern 1: $f_{is,1}$ = 29 N/mm², Bohrkern 2: $f_{is,2}$ = 30 N/mm²; Soll: C 30/37

Gesucht: Bestätigung für ausreichende Festigkeit

Lösung: Forderung: $f_{is,niedrigst} \geq 0{,}85\ (f_{ck} - 4)$ (Tabelle 11.3.2.a)

$f_{is,niedrigst} \geq 0{,}85\ (f_{ck} - 4) = 0{,}85\ (37-4) = 28$ N/mm²

Vorhanden: $f_{is,niedrigst}$ = 29 N/mm² ≥ 28 N/mm²

Fazit: Beton mit angemessener Festigkeit; er entstammt einer übereinstimmenden Gesamtheit.

12 Betonanwendungen

12.1 Sichtbeton

Als Sichtbeton werden Betonflächen bezeichnet, deren Oberflächen sichtbar bleiben und an die hinsichtlich des Aussehens Anforderungen gestellt werden.

Hilfestellung bei Planung, Ausschreibung, Betontechnologie, Bauausführung und Abnahme eines Sichtbetonbauteils gibt das Merkblatt „Sichtbeton“ des DBV und VDZ.

12.1.1 Zusammensetzung

Die Betonzusammensetzung muss eine gute Verarbeitbarkeit (kein Entmischen oder Bluten beim Einbau und Verdichten) gewährleisten. Zur Erzielung guter Sichtbetonflächen haben sich folgende Regeln bewährt:

- ausreichend hoher Mehlkorn- und Mörtelgehalt (siehe Tabelle 12.1.2.a)
- Zementgehalt ≥ 300 kg/m^3
- w/z-Wert ≤ 0,55, ggf. unter Verwendung eines verflüssigenden Zusatzmittels
- wegen der möglichen Farbbeeinflussung kein Restwasser und Restbeton verwenden
- Größtkorn der Gesteinskörnung bis 16 mm, ggf. kleiner
- niedrige Dosierschwankungen für alle Ausgangsstoffe einhalten; bereits geringe Schwankungen des w/z-Wertes ($\Delta w/z = \pm 0{,}02$) wie auch des Ausbreitmaßes ($\Delta a = \pm 20$ mm) können zu erkennbaren Farbtonschwankungen führen
- Herstellwerk und Ausgangsstoffe während der Bauausführung nicht wechseln

In Vorversuchen sollte die Eignung des Betons an Erprobungsflächen oder Prüfschalungen getestet werden. Die Festlegung von Sommer- und Winterrezepturen ist ratsam.

12.1.2 Herstellung von Sichtbetonflächen

Bei der Herstellung von Sichtbetonflächen kann die Oberfläche durch eine oder durch Kombination einer der folgenden Möglichkeiten gestaltet werden:

- Schalungshaut als Gestaltungselement, z. B. sägeraue Brettschalung, Stahlschalung, Matrizen
- nachträgliche Bearbeitung, z. B. Auswaschen, Strahlen, steinmetzmäßige Bearbeitung
- farbige Gestaltung, z. B. mit Weißzement, farbigen Gesteinskörnungen, Pigmenten

Um Betoniergrenzen (Abzeichnung von Schüttlagen) zu vermeiden, sollte der Beton möglichst monolithisch eingebaut und verdichtet werden. Weiterhin ist zu beachten:

- Dunkelverfärbungen sind bei niedrigen Temperaturen nicht oder nicht sicher vermeidbar
- Rostfreie Untersichten erfordern besondere Maßnahmen (z. B. Einhausung, nicht rostende Bewehrung)
- Die Farbtönung des Betons kann durch unterschiedliches Saugverhalten der Schalungshaut (z. B. Liegezeit, Einsatzhäufigkeit) beeinflusst werden.

Zum Schutz der ausgeschalten Sichtbetonflächen sollten Umfang und Art der Schutzmaßnahmen im Leistungsverzeichnis festgelegt werden (siehe VOB/B, § 4(5).

Tabelle 12.1.2.a: Empfohlener Maßnahmenkatalog für gleichmäßige Sichtbetonflächen

Forderung	Möglichkeiten der		
	Bindemittel	Gesteinskörnung	
gleichmäßige Farbtönung	■ gleichmäßige Farbe von Zement und Zusatzstoffen ■ keine Änderung des Herstellwerkes während der Ausführung	■ ausgewählte Farbe, Struktur, Größtkorn ■ gleichmäßige Sandfarbe ■ gleichmäßiger Mehlkornanteil ■ keine Änderung des Herstellwerkes während der Ausführung	
geschlossene Oberfläche		■ getrennte Korngruppen ■ Größtkornfestlegung	
fehlerfreie Kanten		■ Größtkornbeschränkung	
Arbeitsfugen			

	Beeinflussung durch	
	Beton	**Ausführung**
	■ gleichmäßige Betonzusammensetzung ■ geringe Dosierschwankungen der Ausgangsstoffe ■ gleichmäßige Betontemperatur ■ ausreichend lange, definierte Mischzeit, mindestens 60 s	■ gleiches Material und gleiche Vorbehandlung für die Schalungshaut ■ neue und alte Schalungen nicht gemeinsam verwenden ■ gleichmäßiger Auftrag eines auf Schalung und Beton abgestimmten Trennmittels ■ gleichmäßige Verdichtung ■ ausreichende, gleichmäßige Nachbehandlung (keine flüssigen Nachbehandlungsmittel)
	■ gleichbleibendes Mischungsverhältnis ■ **w/z-Wert** ≤ 0,55; Zementgehalt ≥ 300 kg/m³ ■ Mehlkorngehalt im oberen Bereich nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ■ ausreichend hoher Mörtelgehalt, Erfahrungswert bei Größtkorn $D_{max}16$: ≥ 550 l/m³ ■ ausreichender Zusammenhalt und ausreichendes Wasserrückhaltevermögen des Frischbetons ■ Konsistenz F2 bis F6; Abweichung vom vereinbarten Ausbreitmaß ≤ ± 20 mm ■ Selbstverdichtender Beton	■ dichte Schalungen ■ steifer Schalungsaufbau ■ ausreichende Verdichtung, eventuell Nachverdichtung ■ Verhindern der Entmischung durch: – kurze Transportwege – Fallhöhe < 50 cm – kurze Schüttabstände – Schüttlagenhöhe < 50 cm – nicht zu starkes Verdichten – mörteldichte Schalungsfugen – Betondeckung c_v ≥ 30 mm
		■ Abstumpfen der Kanten ■ fluchtgerechte Geradlinigkeit ■ Kantenschutz ■ dichte Schalung
		■ Rastereinteilung ■ Schattenkanten

12.1.3 Optische Anforderungen und Beurteilungskriterien

Für die Beurteilung, Abnahme und Gewährleistung von Sichtbeton ist die Leistungsbeschreibung (Leistungsverzeichnis) maßgebend. Differenzen zwischen Auftraggeber und -nehmer bei der Beurteilung von Sichtbeton lassen sich vermeiden, wenn die Beurteilung anhand von ausreichend großen Erprobungs- und Referenzflächen durchgeführt wird.

Bei der Beurteilung ist der Gesamteindruck der Ansichtsfächen aus angemessenem Betrachtungsabstand und unter üblichen Lichtverhältnissen maßgebend. Frisch ausgeschalte Betonoberflächen sind zur abschließenden Beurteilung meist ungeeignet. Es ist eine ausreichende Zeit bis zu ihrer Austrocknung abzuwarten. Bei den optischen Anforderungen ist zu berücksichtigen, dass eine 100-prozentig gleichmäßige Farbtönung, Porenstruktur und porenfreie Ansichtsfächen herstellungstechnisch nicht erreichbar sind. Entscheidend für eine Beurteilung einer Sichtbetonoberfläche ist der Gesamteindruck und nicht das Einzelmerkmal.

Bei Blau- oder Grünverfärbungen des Betons kann das Entfärben mehrere Monate dauern. Bei hohen Betondruckfestigkeiten können die Verfärbungen dauerhaft sein.

Tabelle 12.1.3.a: Übersicht herstellungstechnischer Grenzen

Vermeidbare Abweichungen	Eingeschränkt vermeidbare Abweichungen	Technisch nicht oder nicht zielsicher herstellbare Anforderungen
■ Fehler beim Einbringen und Verdichten (z. B. Kiesnester, stark sichtbare Schüttlagen) ■ Häufung von Rostfahnen ■ Mörtelreste („Nasen“) bei vertikalen Bauteilen an Arbeitsfugen ■ willkürliche Anordnung von Schalungsankern ■ handwerklich unsaubere Kantenausbildung ■ Versätze > 10 mm an Stößen von Schalungselementen und Bauteilanschlüssen ■ starke Ausblutungen an Schalungsbrett- und Schalungselementstößen oder an Ankerlöchern und Bauteilanschlüssen ■ starke Schleppwassereffekte ■ Farb- und Texturunterschiede durch unsachgemäß gelagerte Schalung	■ Wolkenbildung und Marmorierungen ■ leichte Farbunterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Schüttlagen ■ Porenanhäufung im oberen Teil vertikaler Bauteile ■ Abzeichnung der Bewehrung oder des Grobkorns ■ geringe Ausblutungen an Schalungsbrett- und Schalungselementstößen oder an Ankerlöchern ■ einzelne Kalk- und Rostfahnen an vertikalen Bauteilen ■ Rostspuren an Untersichten von horizontalen Bauteilen ■ kleine Kantenabbrüche bei scharfen Kanten ■ Schleppwassereffekte in geringer Anzahl und Ausdehnung	■ völlig gleichmäßige Farbtönung aller Ansichtsflächen ■ völlig gleichmäßige Porenstruktur (Porengröße und -verteilung) ■ porenfreie Ansichtsflächen ■ ausblühungsfreie Ortbetonbauteile ■ ungefaste, scharfe Kanten ohne kleinere Abbrüche und Ausblutungen ■ Farbton- und Texturgleichheit an Schalungsstößen

Für die Beurteilung von Sichtbeton nennt das Merkblatt „Sichtbeton“ mit folgenden Klassen verknüpfte Kriterien:

- Texturklassen: T1 - T3
- Porigkeitsklassen: P1 - P4
- Farbtongleichmäßigkeits-Klassen: FT1 - FT3
- Ebenheitsklassen: E1 - E3
- Arbeitsfugen und Schalungshautstöße-Klassen: AF1 - AF4
- Schalungshautklassen: SHK1 - SHK3

Aus diesen Einzelkriterien ergeben sich die in Tabelle 12.1.3.b genannten Sichtbetonklassen.

Erprobungen werden je nach Sichtbetonklasse „freigestellt, empfohlen, dringend empfohlen oder als erforderlich“ benannt. Für die Sichtbetonklassen SB4 und SB3 sind mindestens 2 Erprobungen erforderlich.

Tabelle 12.1.3.b: Sichtbetonklassen und zugehörige Anforderungsklassen gemäß Sichtbeton-Merkblatt

Sichtbetonklasse		Beispiel	Anforderungsklassen für		
			Textur	Porigkeit	
				s [1]	ns [1]
Sichtbeton mit geringen Anforderungen	SB 1	Betonflächen mit geringen gestalterischen Anforderungen, z. B. Kellerwände, Bereiche mit vorwiegend gewerblicher Nutzung	T1	P1	
Sichtbeton mit normalen Anforderungen	SB 2	Betonflächen mit normalen gestalterischen Anforderungen, z. B. Treppenhausräume, Stützwände	T2	P2	P1
Sichtbeton mit besonderen Anforderungen	SB 3	Betonflächen mit hohen gestalterischen Anforderungen	T2	P3	P2
	SB 4	Betonflächen mit besonders hohen gestalterischen Anforderungen, repräsentative Bauteile	T3	P4	P3

[1] s = saugende bzw. ns = nichtsaugende Schalhaut
[2] Erprobungen = Probeflächen

12.2 Hochfester Beton

Beton ab einer Festigkeitsklasse von C55/67 für Normal- oder Schwerbeton und einer Festigkeitsklasse von LC55/60 für Leichtbeton wird als hochfester Beton bezeichnet. Er zeichnet sich durch ein dichtes, kapillarporenarmes Gefüge aus.

12.2.1 Regelwerk

Die Herstellung und Anwendung hochfester Betone ist in DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 geregelt, die Überwachung in DIN EN 13670/DIN 1045-3.

Für Beton der Festigkeitsklassen C90/105, C100/115, LC70/77 und LC80/88 sind zusätzlich eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

Anmerkung: In diesem Heft sind die normativen Regelungen zu hochfestem Beton bereits in den BTD-Kapiteln 6 bis 10 eingearbeitet.

geschalte Sichtbetonflächen				Weitere Anforderungsklassen	
Farbtongleichmäßigkeit		Arbeitsfugen und Schalungsstöße	Ebenheit	Erprobungen [2]	Schalungshautklasse
s [1]	ns [1]				
FT1		AF1	E1	freigestellt	SHK1
FT2		AF2	E1	empfohlen	SHK2
FT2		AF3	E2	dringend empfohlen	SHK2
FT3	FT2	AF4	E3	erforderlich	SHK3

12.2.2 Zusammensetzung

Allgemeine Empfehlungen für die Zusammensetzung von hochfestem Beton:

- Zement: Festigkeitsklassen 42,5 R, 52,5 N und 52,5 R, vorzugsweise mit niedrigem Wasseranspruch
- Wasser: w/z-Wert ≤ 0,35, kein Restwasser
- Zusatzmittel: leistungsfähige Zusatzmittel (BV, FM, ggf. VZ)
- Zusatzstoffe: Flugasche und/oder Silikastaub/Silikasuspension
- Mehlkorngehalt (siehe Tabelle 6.3.4.b)
- Gesteinskörnungen:
  - Größtkorn: i. d. R. D_{max} 16 mm
  - ≤ 2 mm: Quarzsande mit geringem Mehlkorn- und Feinstsandgehalt,
  - > 2 mm: quarzitische Kiese, Kiessande, eventuell Splitte
  - Korngrößenverteilung: zwischen Regelsieblinien A und B, optimal: Sieblinie nahe B für ≤ 2 mm, Sieblinie nahe A für > 2 mm
  - für Betondruckfestigkeiten > 100 N/mm²: gebrochene Gesteinskörnungen hoher Druckfestigkeit, z. B. Basalt

Tabelle 12.2.2.a: Beispiele für die Zusammensetzung hochfester Betone

Betonfestigkeitsklasse				C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C100/115
Zement-gehalt	CEM I 42,5 R		[kg/m³]	420	340	420	-	-
	CEM I 52,5 R			-	-	-	450	450
Silikastaubgehalt				-	30	40	45	45
Flugaschegehalt f				-	80	-	-	100
$(w/z)_{eq}$ [1)]				0,32	0,35	0,32	0,28	0,26
Fließmittelzusatz				Polycarboxylatether oder Melamin-Naphthalin-Fließmittel				
Verzögererzusatz				-	-	-	-	ja
Gehalt an Gesteins-körnungen	0/2	(Sand)	[kg/m³]	650	640	630	660	830
	2/8	(Kies)		420	410	405	355	-
	8/16	(Kies)		790	880	765	-	-
	2/8	(Splitt)		-	-	-	-	480
	8/16	(Splitt)		-	-	-	760	770

1) *k*-Wert-Ansatz für die Anrechnung von Silikastaub und Flugasche auf den w/z-Wert siehe BTD-Kapitel 4.

12.2.3 Anwendung

- Druckbeanspruchte Bauteile ohne größere Exzentrizitäten, z. B. Stützen, Wände
- Bauteile mit hoher mechanischer Beanspruchung
- Verbundkonstruktionen, z. B. stahlprofilummantelte Stützen, Verbunddecken, Verbundträger
- Spezialkonstruktionen, z. B. Behälter

12.3 Massige Bauteile aus Beton

Massige Bauteile aus Beton sind Bauteile, deren kleinste Abmessung ≥ 0,80 m beträgt.

Bei massigen Bauteilen ist aufgrund großer Abmessungen besonders auf Temperaturdifferenzen zwischen Bauteilkern und Bauteilrand durch abfließende Hydratationswärme zu achten, die zur frühen Rissbildung und damit zu einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit führen können.

12.3.1 Regelwerk

Die grundlegenden Anforderungen an die Herstellung von Beton für massige Bauteile regelt DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Zusätzlich ist die DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ zu berücksichtigen.

12.3.2 Zusammensetzung

Bei der Zusammensetzung von Beton für massige Bauteile sind folgende betontechnische Maßnahmen zu beachten:

- Zemente: LH-Zemente nach DIN EN 197-1 oder VLH-Zemente nach DIN EN 14216 empfehlenswert
- Zusatzstoffe: Verwendung von Flugasche zur Verringerung der Wärmeentwicklung des Betons möglich
- Zusatzmittel: eventuell Verzögerung der Wärmeentwicklung durch Verzögererzugabe
- Gesteinskörnungen: Verwendung von Gesteinskörnungen mit niedriger Temperaturdehnzahl (z. B. Basalt, Kalkstein) vorteilhaft

Für die Grenzwerte der Betonzusammensetzung sind nach DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ abweichend von DIN EN 206-1/DIN 1045-2 die in Tabelle 12.3.2.a genannten Regelungen zu beachten.

Tabelle 12.3.2.a: Von DIN EN 206-1/DIN 1045-2 abweichende Grenzwerte der Betonzusammensetzung

Expositionklasse	XD2 / XS2	XD3 / XS3		XF2	
maximaler w/z-Wert	0,50	0,50 [4]	0,45	0,55 [5]	0,50 [5]
Mindestdruckfestigkeitsklasse [1]	C30/37 [3]	C30/37 [3] [4]	C35/45 [3]	C25/30	C30/37
Mindestzementgehalt [2] [kg/m³]	300	300		300	300
Mindestzementgehalt [2] bei Anrechnung von Zusatzstoffen [kg/m³]	270	270		270 [5]	
Mindestluftgehalt [%]	-	-		[6]	-
andere Anforderungen	-	-		Gesteinskörnungen zusätzlich	
				MS_{25}	

Grau gekennzeichnete Zellen: Abweichung von DIN EN 206-1/DIN 1045-2

[1] Die Druckfestigkeitsklasse kann nach 28, 56 oder 91 Tagen nachgewiesen werden.

[2] Bei Größtkorn D_{max} 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.

[3] Bei LP-Beton eine Festigkeitsklasse niedriger.

[4] Nur bei Verwendung von CEM II/B-V, CEM III/A, CEM III/B ohne oder mit Flugasche als Betonzusatzstoff. Bei Verwendung anderer Zemente der Tabellen 6.3.3.a und 6.3.3.b nur mit mindestens 20 M.-% Flugasche bezogen auf (z+f).

[5] Die Anrechnung auf den Mindestzementgehalt und den Wasserzementwert ist nur bei Verwendung von Flugasche zulässig. Weitere Zusatzstoffe des Typs II dürfen zugesetzt, aber nicht auf den Zementgehalt oder den w/z-Wert angerechnet werden. Bei gleichzeitiger Zugabe von Flugasche und Silikastaub ist eine Anrechnung auch für die Flugasche nicht zulässig.

[6] Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm ≥ 5,5 Vol.-%, 16 mm ≥ 4,5 Vol.-%, 32 mm ≥ 4,0 Vol.-% und 63 mm ≥ 3,5 Vol.-% betragen. Für Fließbeton (Konsistenzklasse ≥ F4) ist der Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% zu erhöhen. Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten. Als oberer Grenzwert des Luftgehaltes gilt der festgelegte Mindestluftgehalt plus 4 Vol.-% absolut.

[7] Erdfeuchter Beton mit w/z-Wert ≤ 0,40 darf ohne Luftporen hergestellt werden.

	XF3		XF4	XA1	XA2
	0,55	0,50	0,50 [5]	0,60	0,50
	C25/30	C30/37	C30/37	C25/30	C30/37 [3]
	300	300	300	280	300
	270		270 [5]	240	270
	[6]	-	[6] [7]	-	-
	mit Widerstand gegen Frost bzw. Frost- und Taumittel			-	-
	F_2		MS_{18}		

12.3.3 Temperaturentwicklung

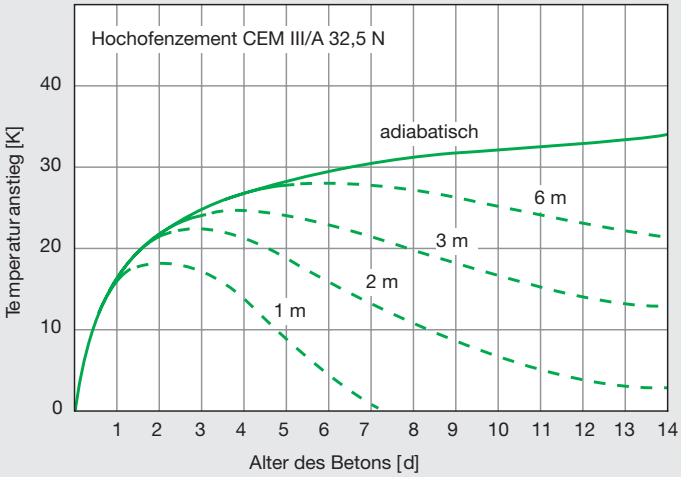
Bei massigen Bauteilen entsteht im Verlauf der Hydratation zwischen Bauteilkern und -oberfläche ein Temperaturgefälle, das sich mit fortschreitender Zeit ausgleicht.

Die entstehenden Temperaturen sind u. a. abhängig von:

- Hydratationswärme des Zements
- Zementgehalt
- Wasserzementwert
- Frischbetontemperatur
- Umgebungsbedingungen
- Bauteildicke
- Bauteilausbildung und -lage

Die Wärmeentwicklung im Kern von Betonbauteilen unterschiedlicher Dicke kann, wie in BTD-Kapitel 9.5 erläutert, abgeschätzt werden. Ein Beispiel für den Verlauf des Temperaturanstieges in Beton infolge Hydratationswärmeentwicklung von CEM III/A 32,5 N bei adiabatischen (kein Wärmeaustausch mit der Umgebung) und teiladiabatischen Verhältnissen zeigt Abbildung 12.3.3.a.

Abbildung 12.3.3.a: Verlauf des Temperaturanstiegs infolge Hydratationswärmeentwicklung im Kern von Betonbauteilen unterschiedlicher Dicke (—— adiabatisch, - - - teiladiabatisch)



12.3.4 Herstellung

Bei der Herstellung von massigen Bauteilen aus Beton ist vor allem die Temperaturentwicklung zu beachten. Die Maximaltemperatur sollte möglichst niedrig gehalten werden. Zur Vermeidung von Temperaturrissen wird eine Temperaturdifferenz zwischen Bauteiloberfläche und Bauteilkern von < 15 K empfohlen.

Maßnahmen für die Herstellung massiger Bauteile:

- Für die Herstellung von massigen Bauteilen nach DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ ist ein Qualitätssicherungsplan mit Betonierkonzept aufzustellen.
- Frischbetontemperatur möglichst niedrig halten, z. B. durch
  - Berieselung der Gesteinskörnung mit Kaltwasser
  - Beschattung der Lagereinrichtung
  - Verwendung von feinem Scherbeneis bei der Betonherstellung
  - Betonieren während der Nachtstunden
  - Kühlen des Frischbetons mit Stickstoff

- Ggf. Betonoberfläche vor übermäßiger Erwärmung oder Auskühlung schützen, z. B. durch Abdeckung mit feuchten Jutebahnen oder wärmedämmenden Matten.
- Nachbehandlung:
  - ausreichend lange und intensive Nachbehandlung
  - Nachbehandlungsdauer nach DIN EN 13670/DIN 1045-3 (siehe Tabellen 10.7.3.a, 10.7.3.b und 10.7.3.c) mit $r = f_{cm,2} / f_{cm,Prüftermin}$
  - Alternativ: Nachweis der erforderlichen Festigkeit im oberflächennahen Bereich (siehe Tabelle 10.7.3.a) über eine Festigkeitsentwicklungskurve bei 20 °C zwischen 2 d und dem festgelegten Prüftermin. Bei einer Verarbeitbarkeitszeit von mehr als 5 h ist das Nachweisalter für die Druckfestigkeit im Alter von 2 d ($f_{cm,2}$) um die Verzögerungszeit zu verlängern.

12.4 Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton

Teilweise oder vollständig ins Erdreich eingebettete Betonbauwerke können auch ohne zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen wasserundurchlässig ausgeführt werden. Hierfür müssen sie als so genannte „Weiße Wannen“ hergestellt werden. Die Wasserundurchlässigkeit, d. h. die Begrenzung des Wasserdurchtritts, wird nicht nur von dem Baustoff Beton, sondern auch von Fugen, Rissen und Einbauteilen (Durchdringungen) gefordert.

12.4.1 Regelwerk

Die grundlegenden Anforderungen an die Herstellung von Beton mit hohem Wassereindringwiderstand regelt DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Zusätzlich kann die DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ (WU-Richtlinie) angewendet werden, deren Regelungen eine Ergänzung zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1992-1-1/NA darstellen. Die Anwendung der WU-Richtlinie ist bauvertraglich zu vereinbaren.

12.4.2 Beanspruchungsklassen

Die WU-Richtlinie unterscheidet zwei Beanspruchungsklassen:

- Beanspruchungsklasse 1: drückendes und nichtdrückendes Wasser und zeitweise aufstauendes Sickerwasser
- Beanspruchungsklasse 2: Bodenfeuchte und nichtstauendes Sickerwasser

12.4.3 Nutzungsklassen

Die Nutzungsklasse ist in Abhängigkeit von der Funktion des Bauwerks und den Nutzungsanforderungen festzulegen.

- Nutzungsklasse A: Feuchtstellen infolge von Wasserdurchtritt auf der Bauteiloberfläche nicht zulässig
- Nutzungsklasse B: Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche im Bereich von Trennrissen, Sollrissquerschnitten, Fugen und Arbeitsfugen zulässig (kein Wasserdurchtritt)

12.4.4 Anforderungen an den Beton

Nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 gelten folgende Grenzwerte für die Betonzusammensetzung:

- Bauteildicke d ≤ 40 cm:
  - w/z-Wert bzw. $(w/z)_{eq} \leq 0{,}60$
  - Mindestdruckfestigkeitsklasse: C25/30
  - Mindestzementgehalt: 280 kg/m³
  - Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen: 270 kg/m³
- Bauteildicke d > 40 cm:
  - w/z-Wert bzw. $(w/z)_{eq} \leq 0{,}70$

Bei Ausführung nach WU-Richtlinie gelten zusätzlich folgende Anforderungen:

- Um die Gefahr einer Rissbildung zu reduzieren, sind bei der Festlegung des Betons insbesondere Anforderungen an Frischbetontemperatur, Wärmeentwicklung des Betons und Nachbehandlung zu beachten.
- Bei Ausnutzung der Mindestbauteildicken nach Tabelle 12.4.5 ist bei Beanspruchungsklasse 1 der $(w/z)_{eq} \leq 0{,}55$ einzuhalten. Bei Wänden ist dann ein Größtkorn von 16 mm zu verwenden.
- Werden die Mindestdicken nach Tabelle 12.4.5 um 15 % erhöht, darf $(w/z)_{eq}$ von ≤ 0,55 auf ≤ 0,60 erhöht werden.
- Bei freien Fallhöhen > 1 m ist für den Fußpunkt von Wänden eine Anschlussmischung (Größtkorn ≤ 8 mm) zu verwenden.
- Bei Elementwänden ist stets eine Anschlussmischung (Größtkorn ≤ 8 mm) zu verwenden.
- Konsistenz F3 oder weicher zur Sicherstellung einer ausreichenden Verarbeitbarkeit.

12.4.5 Empfohlene Mindestbauteildicken

Die empfohlenen Mindestbauteildicken nach WU-Richtlinie bedingen die vorgenannten zusätzlichen Anforderungen an den Beton und seinen Einbau.

Tabelle 12.4.5.a: Empfohlene Mindestbauteildicken nach WU-Richtlinie

Bauteil	Beanspruchungsklasse	Mindestbauteildicke [mm] bei		
		Ortbeton	Elementwände	Fertigteile
Wände	1	240	240	200
	2	200	240 [1)]	100
Bodenplatte	1	250	-	200
	2	150	-	100

[1)] Unter Beachtung besonderer beton- und ausführungstechnischer Maßnahmen, wie z. B. Verwendung von Beton der Konsistenzklasse F 6 oder selbstverdichtender Beton, ist eine Abminderung auf 200 mm möglich.

12.5 Bohrpfahlbeton

Als Bohrpfahlbeton wird Beton für Bohrpfähle oder Schlitzwandelemente bezeichnet. Bohrpfähle oder Schlitzwandelemente werden im Baugrund mit oder ohne Verrohrung durch Bohren oder Aushub und anschließendes Verfüllen mit Beton oder Stahlbeton hergestellt.

12.5.1 Regelwerk

Die Herstellung und Ausführung von Bohrpfahlbeton ist in DIN EN 1536 „Ausführungen von Arbeiten im Spezialtiefbau – Bohrpfähle“ in Verbindung mit den ergänzenden Festlegungen der DIN SPEC 18140 geregelt.

12.5.2 Ausgangsstoffe

Zement

- Zemente nach DIN EN 197-1 und DIN 1164:
  - CEM I
  - CEM II/A-S, CEM II/B-S
  - CEM II/A-D
  - CEM II/A-V, CEM II/B-V
  - CEM II/A-P, CEM II/B-P
  - CEM II/A-T, CEM II/B-T
  - CEM II/A-LL
  - CEM II/A-M (S-V), CEM II/B-M (S-V)
  - CEM III/A, CEM III/B, CEM III/C
- Für andere Zementarten ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich.

- Zemente mit Zusatzstoffen des Typs II sind bevorzugt zu verwenden, da sie sich vorteilhaft auf die Eigenschaften des Betons auswirken, z. B. durch verbesserte Verarbeitbarkeitszeit und verminderte Wärmeentwicklung.
- Tonerdezement darf nicht verwendet werden.

Gesteinskörnung

- Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620
- Runde Gesteinskörnungen bevorzugt, Ausfallkörnung nicht zulässig.
- Das Größtkorn darf 32 mm oder ¼ des lichten Abstands der Längsbewehrungsstäbe in Umfangsrichtung nicht überschreiten. Der kleinere Wert ist maßgebend.

Zusatzstoffe und Zusatzmittel

- Zusatzstoffe und Zusatzmittel müssen den gleichen Anforderungen genügen wie für Betone nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2.
- Verwendbare Zusatzmittel sind: Betonverflüssiger, Fließmittel, Verzögerer und bei Frostbeanspruchung Luftporenbildner.

12.5.3 Anforderungen an den Beton

Im Allgemeinen gelten die Anforderungen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2; für besondere Anforderungen an die Zusammensetzung von Bohrpfahlbeton siehe Tabelle 12.5.3.a.

- Festigkeitsklasse (falls im Leistungsverzeichnis nicht anders gefordert):
  - i.d.R. C20/25 bis C45/55 (Berücksichtigung der Anforderungen aus den Expositionsklassen erforderlich)
  - für Primärpfähle bei Bohrpfahlwänden < C20/25 erlaubt
- Konsistenz nach Tabelle 12.5.3.b
- Fließfähiger Beton der Konsistenz ≥ F4 darf ohne Fließmittel hergestellt werden.
- Berücksichtigung von aggressiven Böden/Grundwasser durch die Betonrezeptur oder eine bleibende Hülse.

Tabelle 12.5.3.a: Anforderungen an die Zusammensetzung von Bohrpfahlbeton nach DIN EN 1536 und DIN SPEC 18140

Betonkriterium	Anforderungen	
Zementgehalt	Einbringen im Trockenen	≥ 325 kg/m³
	Einbringen unter Wasser	≥ 375 kg/m³
Zement + Flugasche (z+f) [1]	Größtkorn 32 mm	≥ 350 kg/m³
	Größtkorn 16 mm	≥ 400 kg/m³
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Flugasche	Größtkorn 32 mm	≥ 270 kg/m³
	Größtkorn 16 mm	≥ 300 kg/m³
w/z-Wert bzw. w/(z+0,7) [2]		≤ 0,60
Mehlkornanteil d < 0,125 mm (einschließlich Zement und Zusatzstoffe)	Größtkorn d > 8 mm	≥ 400 kg/m³
	Größtkorn d ≤ 8 mm	≥ 450 kg/m³

[1] Eine Anrechnung von Flugasche ist nicht zulässig bei Verwendung von CEM II/B-V, CEM II/B-P, CEM II/A-D und CEM III/C.
[2] Erforderlichenfalls geringer bei entsprechender Expositionsklasse (z. B. XA).

Tabelle 12.5.3.b: Konsistenz von Bohrpfahlbeton

Ausbreitmaß [1] [mm]	Anwendungsbeispiele
470 bis 530	▪ Betonieren im Trockenen
530 bis 590	▪ Pumpbeton ▪ mit Kontraktorrohren eingebrachter Unterwasserbeton
570 bis 630	▪ im Kontraktorverfahren unter Stützflüssigkeit eingebrachter Beton

[1] Das gemessene Ausbreitmaß ist auf 10 mm zu runden.

12.5.4 Prüfung und Überwachung

- Probenahme und Prüfung nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 und DIN EN 13670/DIN 1045-3 (siehe BTD-Kapitel 11)
- Abweichend von DIN EN 13670/DIN 1045-3 Probenahme und Druckfestigkeitsprüfung auch für Beton der Überwachungsklasse 1: mindestens 3 Proben für höchstens 300 m³ oder 3 Betoniertage

12.6 Stahlfaserbeton

Stahlfaserbeton ist ein Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, dem zum Erreichen bestimmter Eigenschaften Stahlfasern (als Zusatzstoff) zugegeben werden.

12.6.1 Regelwerk

In DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ist die Verwendung von Stahlfasern nach DIN EN 14889-1 geregelt. Bei Ausnutzung der Tragwirkung der Stahlfasern in tragenden und aussteifenden Betonbauteilen sind zusätzlich die Regelungen der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ zu beachten. Die Richtlinie ändert und ergänzt folgende in Bezug genommene Regelwerke:

- DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA/A1 (Konstruktion und Bemessung)
- DIN EN 206-1/DIN 1045-2 (Betonherstellung und Qualitätssicherung)
- DIN EN 13670/DIN 1045-3 (Bauausführung und Überwachung)
- DIN 1045-4 (Tragende Fertigteile)
- DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“
- DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“

Tabelle 12.6.1.a: Anwendungsbereich der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“

Anwendungsbereich	Die Norm ist nicht anwendbar auf …
▪ Bemessung und Konstruktion im Hoch- und Ingenierbau ▪ unbewehrter Stahlfaserbeton ▪ Stahlfaserbeton mit Betonstahlbewehrung ▪ Druckfestigkeitsklasse ≤ C50/60 ▪ nicht tragende Bauteile (z. B. Industrieböden) sinngemäß	▪ Beton nach Zusammensetzung ▪ Standardbeton ▪ Selbstverdichtenden Beton ▪ Stahlfaserspritzbeton ▪ Bauteile aus vorgespanntem Stahlfaserbeton ▪ Bauteile aus gefügedichten und haufwerksporigen Leichtbeton ▪ Hochfesten Beton der Druckfestigkeitsklassen ab C55/67 ▪ unbewehrten Stahlfaserbeton in den Expositionsklassen XS2, XD2, XS3 und XD3 mit rechnerischem Ansatz der Stahlfasern

12.6.2 Leistungsklassen

Der für die Bemessung maßgebende Parameter des Stahlfaserbetons ist die zentrische Nachrissbiegezugfestigkeit. Hierzu gibt es zwei Leistungsklassen:

- Leistungsklasse L1 gibt Auskunft über den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
- Leistungsklasse L2 beschreibt den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Nachrissbiegezugfestigkeiten werden an Stahlfaserbetonbalken aus der Last-Durchbiegungskurve bei den Durchbiegungsstellen 0,5 mm und 3,5 mm ermittelt. Die Leistungsklasse wird vom Planer festgelegt.

Tabelle 12.6.2.a Verformungswerte und Leistungsklassen von Stahlfaserbeton

Leistungsklasse	Nachweis im Grenzzustand der ...	Verformungswerte in der Nachrissbiegezugprüfung (Biegebalkenprüfung) [1]
L1 (kleine Verformungen)	Gebrauchstauglichkeit	$\delta_{L1} = 0{,}5$ mm
L2 (große Verformungen und in Kombination mit Betonstahlbewehrung)	Tragfähigkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung	$\delta_{L2} = 3{,}5$ mm

[1] Nachrissbiegezugprüfung nach Anhang O der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“.

In Tabelle 12.6.2.b sind die zentrischen Nachrissbiegezugfestigkeiten für die verschiedenen Leistungsklassen angegeben.

Tabelle 12.6.2.b: Grundwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeiten für die Leistungsklassen L1 und L2

Verformung 1		Verformung 2			
L1	$f^{f}_{ct0,L1}$	L2	$f^{f}_{ct0,L2}$	$f^{f}_{ct0,u}$	$f^{f}_{ct0,s}$
0	< 0,16	**0**	–	–	–
0,4[1]	0,16	0,4[1]	0,10	0,15	0,15
0,6	0,24	0,6	0,15	0,22	0,22
0,9	0,36	0,9	0,23	0,33	0,33
1,2	0,48	1,2	0,30	0,44	0,44
1,5	0,60	1,5	0,38	0,56	0,56
1,8	0,72	1,8	0,45	0,67	0,67
2,1	0,84	2,1	0,53	0,78	0,78
2,4	0,96	2,4	0,60	0,89	0,89
2,7[2]	1,08	2,7[2]	0,68	1,00	1,00
3,0[2]	1,20	3,0[2]	0,75	1,11	1,11

[1] Nur für flächenhafte Bauteile.
[2] Für Stahlfaserbeton dieser Leistungsklassen ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

Grundwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeit

$f^{f}_{ct0,L1}$ in Leistungsklasse 1 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie

$f^{f}_{ct0,L2}$ in Leistungsklasse 2 bei Verwendung der vollständigen Spannungs-Dehnungslinie

$f^{f}_{ct0,u}$ bei Verwendung des rechteckigen Spannungsblocks sowie von Betonstahlbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$f^{f}_{ct0,s}$ im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei Verwendung von Betonstahlbewehrung

12.6.3 Kennzeichnung von Stahlfaserbeton

Beispiel für die Bezeichnung von Stahlfaserbeton:

C30/37 – L1,2/0,9 – XC1 – WO

C30/37: Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

L1,2/0,9: Stahlfaserbeton der Leistungsklasse L1-1,2 mit dem Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit von 1,2 für kleine Verformungen und Leistungsklasse L2-0,9 mit dem Grundwert der zentrischen Nachrisszugfestigkeit von 0,9 für große Verformung (siehe auch grün unterlegte Werte in Tabelle 12.6.2.b)

XC1: Expositionsklasse des Betons

WO: Feuchtigkeitsklasse.

Angaben über Art und Menge der Stahlfasern sind dem Lieferschein zu entnehmen. Die Kennzeichnung macht hierzu keine Angaben.

12.6.4 Stahlfaserarten

Für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 dürfen folgende Stahlfasern nach DIN EN 14889-1 verwendet werden (siehe BTD-Kapitel 4.6):

- lose Stahlfasern
- bündelweise verklebte Stahlfasern mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Stahlfasern in Dosierverpackung mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Eingesetzt werden Stahlfasertypen mit verschiedenen Formen und aus unterschiedlichen Stahlsorten, z. B.:

- Stahldrahtfasern mit glatter Oberfläche und Endhaken
- Stahldrahtfasern mit profilierter Oberfläche und Endhaken
- Stahldrahtfasern in gewellter Form
- gefräste Spanfasern
- profilierte Blechfasern

Generell besitzen Stahldrahtfasern eine hohe, Blechfasern eine niedrige Festigkeit. Die Duktilität ist bei beiden ausgesprochen hoch. Spanfasern besitzen ein eher sprödes Bruchverhalten.

Die Leistungsfähigkeit der Fasern im Beton ist abhängig vom:

- Fasergehalt
- Zugfestigkeit der Fasern
- Verankerungsmechanismus der Faser
- Verhältnis Faserlänge l / Faserdurchmesser d

Je höher l/d, desto höher die Wirksamkeit. Eingesetzte Stahlfasern sollten nicht kürzer sein als das 1,5fache des Größtkorns, die Länge darf maximal das zweifache des engsten Abstandes der Bewehrungsstäbe betragen. Standardfaserlängen sind 25 mm bis 60 mm.

12.6.5 Zusammensetzung

Der Gehalt an Stahlfasern liegt in Abhängigkeit von der Anwendung bei ca. 20 bis 40 kg/m^3. Bei hochbelasteten Bauteilen sind auch höhere Gehalte möglich.

Die Zugabe von Stahlfasern zum Beton führt i. d. R. zu einer steiferen Konsistenz gegenüber der Ausgangsmischung. Diese wird durch Zugabe von verflüssigenden Zusatzmitteln ausgeglichen. Das Ausbreitmaß der Ausgangsmischung ohne Fasern sollte ca. 420 ± 20 mm betragen. Für die Aussteuerung der Frisch- und Festbetoneigenschaften dürfen die Gehalte an Zement und Zusatzstoff (außer Fasern) um jeweils ± 15 kg/m^3 variiert werden.

Für einen ausreichenden Zusammenhalt und eine gute Verarbeitbarkeit sind zu berücksichtigen:

- erhöhter Zementleimbedarf (ca. + 10 %),
- ausreichend hoher Mehlkorn- und Feinstsandanteil,

- Sieblinie im Bereich A/B nach DIN 1045-2, Größtkorn i. d. R. D_{max}16 mm.

Für die Stoffraumrechnung des Betons wird die Dichte der Stahlfasern mit 7,85 kg/dm³ angesetzt.

12.6.6 Herstellung, Erstprüfung und Überwachungsklassen

Stahlfasern müssen im Herstellwerk zugegeben werden. Die Dosiermengen und -reihenfolge der Ausgangsstoffe sind in einer Mischanweisung für die jeweilige Anlage vorzuschreiben.

Die Einbaukonsistenz wird nach Faserzugabe mit Fließmittel auf der Baustelle eingestellt.

Stahlfaserbeton kann als Pumpbeton hergestellt werden.

Für die Festlegung der Leistungsklasse ist die Erstprüfung an mindestens sechs Prüfkörpern mit dem weggesteuerten 4-Punkt-Biegeversuch für die Verformungen 1 und 2 durchzuführen. Die Erstprüfung ist jährlich als Bestätigungsprüfung sowie bei wesentlichen Änderungen der Ausgangsstoffe oder den Anforderungen zu wiederholen.

Überwachung von Stahlfaserbeton:

- Leistungsklasse ≤ L1-1,2: Überwachungsklasse 1
- Leistungsklasse > L1-1,2: Überwachungsklasse 2

Die Bestimmung des Stahlfasergehaltes bei der Abnahmeprüfung kann durch Auswaschen des Frischbetons oder induktiv erfolgen.

12.6.7 Eigenschaften

Die Zugabe von Stahlfasern zu Beton führt zu folgenden Materialeigenschaften:

- höhere Schlagfestigkeit
- höherer Verschleißwiderstand
- duktiles Bruchverhalten
- eventuell höhere Biegezug-, Spaltzug- und zentrische Zugfestigkeit
- höhere Grünstandsfestigkeit des Betons

Stahlfaserbeton ist in den Expositionsklassen XC1 und XC2 in die Mindestdruckfestigkeitsklasse C20/25 einzustufen. Für alle anderen Expositionsklassen gelten die Anforderungen nach DIN EN 1992-1-1/NA/A1, Tabelle 4.1 (siehe Tabellen in BTD-Kapitel 6.2.1) Stahlfaserbeton darf nicht der Expositionsklasse X0 zugeordnet werden, weil er Metall enthält.

12.6.8 Anwendungen

Stahlfasern können in Abhängigkeit von den statischen Anforderungen an das Bauteil ohne zusätzliche Bewehrung, in Kombination mit einer schlaffen Stabstahlbewehrung und/oder im Spannbeton eingesetzt werden.

In folgenden Bereichen wird Stahlfaserbeton derzeit eingesetzt:

- Industrieböden
- Fundamente, Fundamentplatten, Bodenplatten
- Kellerwände, Wände
- Fertiggaragen
- Spritzbeton (Nass- oder Trockenspritzverfahren), z. B. für Tunnelauskleidungen, Hangsicherungen
- Tunnelauskleidungen aus Fertigteilen (Tübbinge)
- Betonrohre
- Rammpfähle
- Dichtflächen, z. B. Auffangtassen in Tankanlagen

12.7 Trinkwasserbehälter

Trinkwasserbehälter dienen der Wasserspeicherung zur Abdeckung von Verbrauchsspitzen und Stillstandzeiten bei der Wasserförderung. Der Schutz und Erhalt des Trinkwassers erfordern eine hohe Qualität der verwendeten Baustoffe.

Nach § 17 der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) dürfen bei dauerhaftem oder vorübergehendem Kontakt mit Trinkwasser nur Werkstoffe und Materialien verwendet werden, die

- unbedenklich für die Gesundheit sind,
- Geruch oder Geschmack des Wassers nicht nachteilig verändern,
- nur soviel Stoffe in das Wasser abgeben wie nach Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik unvermeidbar ist.

Zur Sicherung der Trinkwasserhygiene ist bereits bei der Planung ein Hygienekonzept zu erstellen.

12.7.1 Regelwerk

Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Trinkwasserbehältern sind in DIN EN 1508 geregelt. Sie wird ergänzt durch nationale Anforderungen, die in der DVGW-Regelwerksreihe W 300 „Trinkwasserbehälter“ beschrieben sind. [1)]

- DVGW W 300-1 (A): „Planung und Bau“
- DVGW W 300-2 (A): „Betrieb und Instandhaltung“
- DVGW W 300-3 (A): „Instandsetzung und Verbesserung“
- DVGW W 300-4 (A): „Werkstoffe, Auskleidungs- und Beschichtungssysteme – Grundsätze und Qualitätssicherung auf der Baustelle“
- DVGW W 300-5 (P): „Werkstoffe, Auskleidungs- und Beschichtungssysteme – Anforderungen und Prüfung“

[1)] DVGW: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn.

Im Hinblick auf die Hygiene gelten die DVGW-Arbeitsblätter

- DVGW W 347 (A): „Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich“
- DVGW W 270 (A): „Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung“ (gilt u. a. für zementgebundene Werkstoffe mit organischen Bestandteilen)
- DVGW W 398 (M): „Praxishinweise zur hygienischen Eignung von Ortbeton und vor Ort hergestellten zementgebundenen Werkstoffen zur Trinkwasserspeicherung“

Das DVGW Arbeitsblatt W 347 (A) gilt für

- Ortbeton
- Fertigbeton
- Mörtel- und Putze, zementgebundene Verpressmaterialien
- Zementgebundene Beschichtungen
- Zementgebundenes Fugenmaterial, Fliesenkleber
- Abstandhalter aus Zement und sonstige Bauteile/Bauhilfsstoffe

Nachweise für die hygienischen und technischen Anforderungen an den Beton gemäß DVGW Arbeitsblatt W 347 (A) sind als Einzelnachweise der jeweiligen Ausgangsstoffe oder durch eine Einzelprüfung der Gesamtrezeptur zu erbringen.

12.7.2 Ausgangsstoffe

Tabelle 12.7.2.a: Ausgangsstoffe für Beton sowie Spritzbeton der Expositionsklasse X_{TWB} gemäß DVGW Arbeitsblatt W 300-4 (A)

Ausgangsstoff	Anforderungen
Zement	nach DIN EN 197-1, DIN 1164 ■ CEM I ■ CEM II ■ CEM III
Gesteinskörnung	nach DIN EN 12620 ■ ergänzende Hinweise auf leichtgewichtige organische Bestandteile beachten ■ DVGW W 398 (M) beachten
Zugabewasser	nach DIN EN 1008 ■ nur Trinkwasser
Zusatzmittel	nach DIN EN 934-2 ■ Betonverflüssiger ■ Fließmittel ■ Verzögerer ■ keine Kombinationsprodukte
Zusatzstoffe	nach DIN EN 450-1 und DIN EN 13263-1
Fasern	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

12.7.3 Anforderungen an den Beton

Grundsätzlich gelten:

- DIN EN 206-1/DIN 1045-2 sowie DIN EN 206-9
- DAfStB-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“
- DIN EN 14887/DIN 18551 für Spritzbeton

Zusätzlich gelten die im DVGW-Arbeitsblatt W 300-4 (A) festgelegten Anforderungen.

Da an Betone im Kontakt mit Trinkwasser besondere Anforderungen an die Hygiene und die Hydrolysebeständigkeit (Vermeidung von Auslaugungen des Betons und damit verbundener Absenkung seiner Alkalität) gestellt werden, wird im DVGW-Arbeitsblatt W 300-4 (A) eine weitere Expositionsklasse X_{TWB} eingeführt.

Tabelle 12.7.3.a: Expositionsklasse X_{TWB} für Beton in Kontakt mit Trinkwasser gemäß DVGW Arbeitsblatt W 300-4 (A)

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiel für die Zuordnung (informativ)
X_{TWB}	Beton in Kontakt mit Trinkwasser gemäß Trinkwasserverordnung (Anforderungen an die Hygiene und Hydrolysebeständigkeit)	Trinkwasserbehälter Trinkwasserspeicher

Tabelle 12.7.3.b: Empfehlungen für die Grenzwerte der Betonzusammensetzung bei X_{TWB} gemäß DVGW Arbeitsblatt W 300-4 (A)

Eigenschaft	Anforderung
maximaler w/z-Wert bzw. w/z_{eq}-Wert	0,50
Mindestdruckfestigkeitsklasse	C30/37
Mindestzementgehalt [kg/m³]	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen [kg/m³]	270 (gilt nicht für Spritzbeton)
Mindestluftgehalt	-
Mehlkorngehalt [kg/m³]	empfohlen ≤ 400

12.7.4 Ausführung

Beton der Expositionsklasse X_{TWB} unterliegt der Überwachungsklasse ÜK 2, für Spritzbeton gilt für die Konformitätskontrolle die Überwachungskategorie 3 nach DIN EN 14487.

Für die Betondeckung gilt:

- Bei Neubau: c_{min} = 25 mm (c_{nom} = 40 mm). Ein Nachweis der Hydrolysebeständigkeit kann bei dieser Betondeckung und bei Einhaltung der Empfehlungen nach Tabelle 12.7.3.b entfallen.
- Bei Instandsetzungsmaßnahmen: Reduzierung auf c_{min} = 20 mm möglich

Zum Erreichen der Hydrolysebeständigkeit des Betons gelten für die Nachbehandlung die dreifachen Werte der DIN EN 13670/DIN 1045-3.

Die Betonoberfläche muss porenarm und lunkerfrei sein, die Herstellung von Musterflächen wird empfohlen. Das DBV/VDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ kann als Grundlage herangezogen werden (siehe BTD-Kapitel 12.1).

Für die Herstellung einer möglichst rissefreien wasserundurchlässigen Betonkonstruktion sind die Trennrissbreiten auf WK ≤ 10 mm zu begrenzen.

12.8 Spritzbeton

Spritzbeton ist Beton, der in einer geschlossenen Schlauch- oder Rohrleitung zur Einbaustelle gefördert und dort durch Spritzen aufgetragen und dabei verdichtet wird.

Eine Besonderheit des Spritzbetons ist der Rückprall beim Auftragen des Betons. Rückprall ist der Teil des Spritzgemisches, der beim Spritzen nicht an der Auftragsfläche haftet. Er verändert die Zusammensetzung des Spritzbetons gegenüber dem Ausgangsspritzgemisch: Der Zementgehalt nimmt zu, die Sieblinie wird feiner und der w/z-Wert wird kleiner. Zusammensetzung und Menge des Rückpralls hängen von vielen Einflussfaktoren ab.

12.8.1 Regelwerk

Die Anforderungen an Spritzbeton hinsichtlich Ausgangsstoffe, Herstellung und Ausführung sind geregelt in

- DIN EN 14487-1 „Spritzbeton – Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität“
- DIN EN 14487-2 „Spritzbeton – Teil 2: Ausführung“
- DIN 18551 „Spritzbeton – Nationale Anwendungen zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen“

DIN 18551 gilt für Bauteile in Spritzbetonbauweise aus bewehrtem Normal- oder Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge nach

- DIN EN 206-1/DIN 1045-2
- DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA
- DIN EN 13670/DIN 1045-3

Die Prüfverfahren für Spritzbeton sind in DIN EN 14488 beschrieben

12.8.2 Herstellung

Grundsätzlich werden zwei Spritzverfahren unterschieden: das Trocken- und das Nassspritzverfahren.

Tabelle 12.8.2.a: Spritzverfahren für die Herstellung von Spritzbeton

	Trockenspritzverfahren	Nasspritzverfahren
Bereitstellungsgemisch (Grundmischung)	▪ Trockenbeton ▪ erdfeuchter Beton	▪ Nassgemisch
Förderung	▪ Dünnstrom	▪ i. d. R. Dichtstrom
Zugabe im Düsenbereich	▪ Wasser ▪ ggf. Beschleuniger und/oder Rückprallminderer	▪ Luft ▪ Beschleuniger
Vorteile	▪ große Flexibilität und Reichweite ▪ einfache Geräte ▪ geringer Reinigungsaufwand	▪ hohe Leistung ▪ geringer Rückprall ▪ geringe Staubentwicklung

Beim **Trockenspritzverfahren** wird erdfeuchter Transport- oder Baustellenbeton (maximal 4 % Feuchte) oder Trockenbeton durch eine Spritzmaschine der Förderleitung zugeführt und im Dünnstrom mit Druckluft zur Spritzdüse gefördert. Dort werden das restliche Zugabewasser und, wenn erforderlich, Betonzusätze (Beschleuniger, ggf. Rückprallminderer) zugegeben.

Beim **Nasssspritzverfahren** wird ein Transport- oder Baustellenbeton verwendet, der i.d.R. im Dichtstromverfahren gefördert wird. Beim Dünnstromverfahren wird die Grundmischung (Bereitstellungsgemisch) durch eine Spritzmaschine der Förderleitung zugeführt und mit Druckluft zur Spritzdüse gefördert, wo gegebenenfalls Betonzusätze beigemengt werden. Beim Dichtstromverfahren wird die Grundmischung (Bereitstellungsgemisch) mit einer Pumpe zur Spritzdüse gefördert, wo die Treibluft zum Spritzen und gegebenenfalls Betonzusätze zugegeben werden.

12.8.3 Zusammensetzung der Grundmischung (Bereitstellungsgemisch)

Zement

- DIN EN 197-1 und DIN 1164 oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Bewährt hat sich CEM I 42,5 R , auch CEM II- und CEM III/A-Zemente kommen zum Einsatz
- Im Trockenspritzverfahren kann auch Spritzbetonzement eingesetzt werden, der ohne Zugabe von Erstarrungsbeschleuniger ein schnelles Erstarren zeigt, z. B. ChronoCem® SE

- Mindestzementgehalt in der Grundmischung 300 kg/m³. Bewährt hat sich ein Zementgehalt von 360 bis 400 kg/m³ (Rückprallbegrenzung)

Gesteinskörnung

- DIN EN 12620 oder DIN EN 13055-1 in Verbindung mit DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.3
- Größtkorn i. d. R. D_{max} 8 mm bei gebrochenem Korn
- Sieblinie zwischen Regelsieblinien A und B (Empfehlung: Sieblinie nahe B für Korngröße ≤ 2 mm, Sieblinie im Bereich 3 für Korngröße > 2 mm)

Zugabewasser

- DIN EN 1008

Zusatzmittel

- DIN EN 934-2, unter Beachtung von DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.6, und/oder DIN EN 934-5 oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Granulatartige pulverförmige Zusatzmittel nur mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder einer Europäischen Technischen Zulassung
- Maximale Dosierung, außer Erstarrungsbeschleuniger (BE): 5 M.-% v. Z.
- Maximale Dosierung von Erstarrungsbeschleunigern: 80 ml je kg Zement; höhere Menge nur mit bauaufsichtlicher Anwendungszulassung
- Verwendung von Erstarrungsbeschleunigern: Eine geeignete Kombination von Zement und Beschleuniger ist unter Berücksichtigung der Baustellenverhältnisse in der Erstprüfung zu ermitteln
- Entmischungsneigung der Zusatzmittel gemäß Herstellererklärung beachten
- Verwendung von Zusatzmitteln mit Gesamtchloridgehalt > 0,10 % nur mit besonderem Nachweis. Bei alkaliempfindlicher Gesteinskörnung darf die Erhöhung des Na_2O-Äquivalents durch Zusatzmittel, bezogen auf die vom Hersteller empfohlene Höchstdosierung, maximal 0,02 M.-% v. Z. betragen.

Zusatzstoffe (einschließlich mineralischer Füllstoffe und Pigmente)

- DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Abschnitt 5.1.6, oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, Anwendung nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.5

Fasern

- Stahlfasern nach DIN EN 14889-1
- Polymerfasern nach DIN EN 14889-2 nur mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Empfehlungen für Nassspritzbeton im Dichtstromverfahren

- Zur Verbesserung der Pumpbarkeit kann bei feinteilarmen Gesteinskörnungen oder mehlkornarmen Mischungen Flugasche oder beispielsweise Kalksteinmehl eingesetzt werden.
- w/z-Wert ≤ 0,5 – insbesondere beim Einsatz von Erstarrungsbeschleunigern (Grenzwert aus den Expositionsklassen berücksichtigen!)
- Verarbeitungskonsistenz: Ausbreitmaßklassen F4/F5, einzustellen durch hochwirksame Fließmittel.

Für Tunnelbauwerke nach ZTV-ING gilt

- Gesamt-Na_2O-Äquivalent des Spritzbetons < 1,5 M.-% vom Zementgehalt.
- Nur alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger mit einem Na_2O-Äquivalent < 1,0 M.-% bezogen auf den Beschleuniger

12.8.4 Anwendung

Spritzbeton eignet sich für alle Anwendungen, in denen eine Schalung nicht verwendet werden kann. Außerdem wird Spritzbeton eingesetzt, wenn eine schnelle Tragfähigkeit erreicht werden muss, wie z. B. bei

- Auskleidung von Hohlraumbauten des konstruktiven Ingenieurbaus: Tunnel-, Stollen-, Berg- und Schachtbau,
- temporärer Sicherung von Hängen, Hohlräumen, Tunnelbauwerken und Baugruben,
- dauerhafter Verstärkung oder Instandsetzung bestehender Tragwerke.

12.9 Leichtverarbeitbarer Beton (LVB)

Leichtverarbeitbarer Beton ist Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 der Konsistenzklassen F5 und F6 (Ausbreitmaß < 700 mm) mit sehr gutem Fließverhalten und sehr geringem Verdichtungsaufwand.

12.9.1 Zusammensetzung

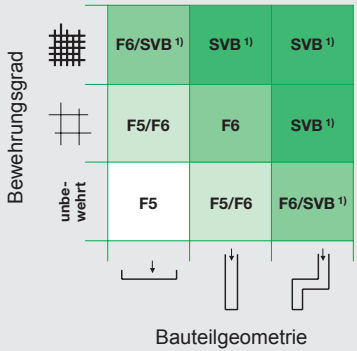
Ähnlich dem selbstverdichtenden Beton (SVB, siehe BTD-Kapitel 12. 10) beruhen die guten Verarbeitungseigenschaften des LVB auf der Verwendung eines hochwirksamen Fließmittels (z. B. Polycarboxylatether) sowie einem erhöhten Leimgehalt. Der Mehlkorngehalt liegt innerhalb der zulässigen Grenzen von DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

Tabelle 12.9.1.a: Beispiel für die Zusammensetzung eines Betons der Konsistenzklassen F5 bzw. F6

Ausgangsstoff	LVB F5	LVB F6
Zement	300 kg/m³	350 kg/m³
Füller	100 kg/m³	150 kg/m³
Fließmittel	0,5 - 2 M.-% v. Z.	1 - 3 M.-% v. Z.
Wasser	180 kg/m³	180 kg/m³
Sand 0/2	700 kg/m³	650 kg/m³
Kies 2/8	525 kg/m³	500 kg/m³
Kies 8/16	525 kg/m³	500 kg/m³

12.9.2 Anwendung

Abbildung 12.9.2.a: Anwendungsbereiche von LVB und SVB in Abhängigkeit von Bewehrungsgrad und Bauteilgeometrie



1) Siehe BTD-Kapitel 12.10

12.10 Selbstverdichtender Beton (SVB)

Selbstverdichtender Beton ist Beton, der ohne Einwirkung zusätzlicher Verdichtungsenergie allein unter dem Einfluss der Schwerkraft fließt, entlüftet sowie die Bewehrungszwischenräume und die Schalung vollständig ausfüllt. Seine wesentlichen Eigenschaften sind eine hohe Fließfähigkeit sowie eine gute Sedimentationsstabilität. Diese Eigenschaften können durch den Einsatz erhöhter Mehlkorngehalte (Mehlkorntyp), durch stabilisierende Zusätze (Stabilisierertyp) oder durch deren Kombination in Verbindung mit hochwirksamen Fließmitteln erzielt werden.

12.10.1 Regelwerk

Aufgrund seiner Konsistenz und dem i.d.R. sehr hohen Mehlkorngehalt entspricht SVB nicht DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Ergänzende Regelungen für SVB sind daher in DIN EN 206-9 festgelegt.

Die Anwendung von SVB in Deutschland ist in der DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ (SVB-Richtlinie) geregelt. Sie gilt für selbstverdichtenden Normalbeton bis zur Druckfestigkeitsklasse C70/85, jedoch nicht für Standardbeton, Beton nach Zusammensetzung, Schwerbeton, Beton der Expositionsklasse XM3.

Für selbstverdichtenden Leichtbeton ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich. Dies gilt auch für hochfesten Beton der Druckfestigkeitsklassen ≥ C90/105.

12.10.2 Anforderungen an SVB nach DIN EN 206-9 in Verbindung mit der DAfStb-Richtlinie

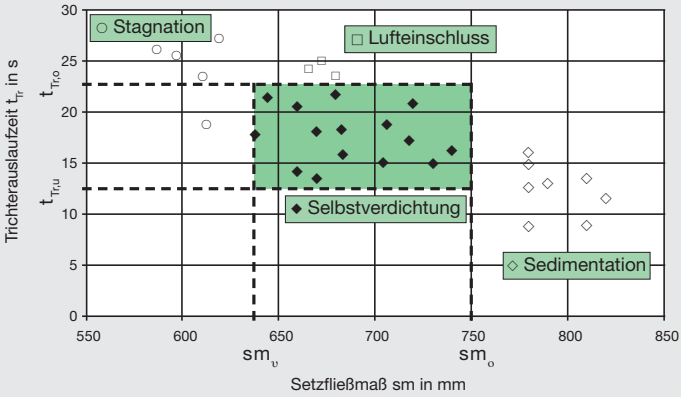
SVB muss ausreichend fließfähig und sedimentationsstabil sein. Der Mehlkorngehalt ist auf ≤ 650 kg/m^3 begrenzt. Der Betonhersteller hat im Rahmen der Erstprüfung zur Ermittlung des optimalen Verarbeitbarkeitsbereichs folgende Prüfungen durchzuführen:

- Setzfließmaß mit und ohne Blockierring
- Trichterauslaufzeit
- Sedimentationsstabilität mit dem Siebversuch

Anstatt Setzfließmaß und Trichterauslaufzeit ist eine Kombinationsprüfung mit dem Auslaufkegel nach Anhang M der SVB-Richtlinie möglich. Beschreibung der Versuche siehe BTD-Kapitel 11.1.5.

Der optimale Verarbeitungsbereich wird über Zielwerte und zulässige Abweichungen für das Setzfließmaß und die Trichterauslaufzeit sowie eine Beurteilung der Sedimentationsneigung festgelegt. In einem Diagramm (siehe Abb. 12.10.2.a) wird der optimale Verarbeitungsbereich aufgetragen. Des Weiteren wird das blockierungsfreie Fließen durch Prüfung des Setzfließmaßes mit Blockierring ermittelt.

Abbildung 12.10.2.a: Beispiel für einen Verarbeitbarkeitsbereich von SVB



Bei Verwendung von LP-Beton ist der Luftgehalt mit dem Druckausgleichverfahren (siehe BTD-Kapitel 11.1.4) ohne Verdichtung 5 Minuten nach der Befüllung zu ermitteln sowie der Mikroluftgehalt A_{300} (mindestens 1,8 Vol.-%) und der Abstandsfaktor L (maximal 0,2 mm) am Festbeton nach DIN EN 480-11.

SVB wird nach ÜK2 überwacht, mit zusätzlichen Frischbetonprüfungen nach Teil 3 der SVB-Richtlinie.

12.10.3 Zusammensetzung

Die Fließ- und Stabilitätseigenschaften eines SVB beruhen im Wesentlichen bei praxisüblichen Betonzusammensetzungen auf einem erhöhten Leimgehalt und der Verwendung eines hochwirksamen Fließmittels (z. B. Polycarboxylatether).

Tabelle 12.10.3.a: Beispiel für die Zusammensetzung eines SVB

Ausgangsstoff	Zusammensetzung
Zement	350 kg/m³
Füller	200 kg/m³
Fließmittel	1 - 3 M.-% v.Z.
Wasser	180 kg/m³
Sand 0/2	625 kg/m³
Kies 2/8	475 kg/m³
Kies 8/16	475 kg/m³

12.10.4 Anwendung

- Feingliedrige Bauteile
- Bauteile mit Einbauten, Unterschneidungen, besonderen Formen, Abmessungen
- Sichtbeton
- Bauteile, die aufgrund von Zugänglichkeit, Lärmschutz oder anderen Bedingungen nicht mechanisch verdichtet werden können

12.11 Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Beim Umgang mit flüssigen oder pastösen wassergefährdenden Stoffen müssen Betonbauten ohne Oberflächenabdichtung ausreichend dicht sein. Die DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ regelt für Betonbauten nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 die baulichen Voraussetzungen, damit gemäß § 62 des Gesetzes zur Ordnung des Wasserhaushaltes (WHG) eine Verunreinigung der Gewässer verhindert wird.

Nach dieser Richtlinie müssen Betonbauten gegenüber möglichen Einwirkungen für bestimmte Zeiträume, im Regelfall 72 h, dicht sein. Ein Betonbauteil gilt als dicht, wenn es die Flüssigkeit während der Beaufschlagungsdauer unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes nicht durchdringt.

Die Richtlinie unterscheidet

- flüssigkeitsdichten Beton (FD-Beton) und
- flüssigkeitsdichten Beton nach Eindringprüfung (FDE-Beton).

12.11.1 Bemessungsgrundlage

Bemessungsgrundlage für die Dichtheit einer Konstruktion für nicht Beton angreifende Flüssigkeiten ist die charakteristische Eindringtiefe. Im Allgemeinen liegt der Bemessung eine charakteristische Eindringtiefe über 72 h zugrunde (= e_{tk72}).

- Eindringtiefe ungerissener Beton: $e_{tk} = 1{,}35 \cdot e_{tm}$
- Eindringtiefe gerissener Beton: $ew_{tk} = 1{,}35 \cdot ew_{tm}$

  e_{tm} bzw. ew_{tm}: mittlere Eindringtiefe in jeweils drei Probekörpern

Zur Sicherstellung der Dichtheit ist nachzuweisen, dass

- $h \geq y_e \cdot e_{tk} = 1{,}50 \cdot e_{tk}$ bei ungerissenen Bauteilen
- $x \geq y_e \cdot e_{tk} = 1{,}50 \cdot e_{tk}$ bzw. ≥ 30 mm $\geq 2\ D_{max}$ bei biegebeanspruchten Bauteilen
- $w_{cal} \leq w_{crit} / y_r$ oder $h \geq y_e \cdot ew_{tk}$ bei Rissbreitennachweis

h – Bauteildicke [mm]
D_{max} – Größtkorn [mm]
e_{tk} – charakteristische Eindringtiefe [mm]
x – Druckzonendicke [mm]
y_e – Sicherheitsbeiwerte [-]
w_{cal} – größte rechnerische Rissbreite unter Gebrauchsbeanspruchung [mm]
w_{crit} – kritische Rissbreite für Durchdringung der Flüssigkeit [mm]

12.11.2 Zusammensetzung des Betons

FD- und FDE-Betone müssen die Anforderungen an Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 erfüllen.

In den Tabellen 12.11.2.a und 12.11.2.b sind die zusätzlich geltenden Anforderungen genannt.

Beton, der nicht alle Anforderungen an FD-Beton erfüllt, darf für Barrieren nach der DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ verwendet werden, wenn er als FDE-Beton projektiert wird.

Für FDE-Beton muss nachgewiesen werden, dass die Eindringtiefe e_{72m} nach 72 h mit den Referenzflüssigkeiten n-Hexan und Di-Chlormethan nicht größer ist als bei FD-Beton. Wenn größere Dichtigkeit gegen eine bestimmte Flüssigkeit erzielt werden soll, ist die Eindringprüfung mit

dieser Flüssigkeit durchzuführen. Soll ein FDE-Beton allgemein dichter sein als ein FD-Beton, ist die Eindringtiefe mit den Referenzflüssigkeiten nachzuweisen.

Tabelle 12.11.2.a: Anforderungen an die Ausgangstoffe für FD- und FDE-Beton

Anforderung	FD-Beton	FDE-Beton
Zement	nach DIN EN 197-1, DIN 1164: ■ CEM I ■ CEM II-S, CEM II/A-D, CEM II/A-P, CEM II-V, CEM II-T, CEM II/A-LL ■ CEM II-M [1)] ■ CEM III/A, CEM III/B	keine Einschränkung
Gesteinskörnung	■ 16 mm ≤ D_{max} 32 mm ■ Sieblinienbereich A/B nach DIN 1045-2 ■ bei Beaufschlagung mit starken Säuren: unlösliche Gesteinskörnung verwenden	■ D_{max} ≤ 32 mm
Zusatzstoff Polymerdispersion	■ wenn für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 zulässig ■ Feststoff- und Flüssiganteil bei $(w/z)_{eq}$ berücksichtigen	
Zusatzmittel	■ LP-Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 mit LP-Bildner erlaubt	
Wasser	■ Verwendung von Restwasser gemäß DIN EN 1008 erlaubt	
Fasern		■ mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ■ bei Stahlfasern: DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ berücksichtigen ■ Prüfung der Medienbeständigkeit im Riss erforderlich

[1)] Zulässig sind die Kombinationen CEM II/A-M (S-D), (S-P), (S-V), (S-T), (S-LL), (D-P), (D-V), (D-T), (D-LL), (P-V), (P-T), (P-LL), (V-T), (V-LL) sowie CEM II/B-M (S-D), (S-T), (D-T), (S-V), (D-V), (V-T).

Tabelle 12.11.2.b: Anforderungen an die Betonzusammensetzung und Betoneigenschaften für FD- und FDE-Beton

Anforderung	FD-Beton	FDE-Beton
w/z-Wert bzw. $(w/z)_{eq}$	≤ 0,50	
Leimvolumen inkl. angerechneter Zusatzstoffgehalt	≤ 290 l/m³	keine Einschränkung
Druckfestigkeitsklasse	≥ C30/37	keine Festlegung [1]
Konsistenz	▪ bei Einbau: F3 ▪ weichere Konsistenzen nur, wenn Nachweis, dass Beton entmischungsstabil	
weitere Anforderungen	▪ Beton darf nicht bluten ▪ bei Verwendung von Restwasser sicherstellen, dass • der w/z-Wert eingehalten wird • der Mehlkorngehalt sowie die Konsistenz den Werten des Ausgangsbetons entsprechen	

[1] Keine Mindestdruckfestigkeitsklasse für Normalbeton. Bei Leichtbeton ist nur der w/z-Wert maßgebend.

12.11.3 Ausführung

- Zur Vermeidung von Rissen ist die Differenz zwischen hydratationsbedingter Maximaltemperatur und Umgebungstemperatur möglichst gering zu halten.
- Nachbehandlung:
  - Es gilt DIN EN 13670/DIN 1045-3.
  - Der Beton ist so lange nachzubehandeln, bis 70 % der charakteristischen Festigkeit erreicht sind, jedoch mindestens 7 d.
  - Die Nachbehandlungsart muss der Wasserrückhaltung einer mindestens 0,3 mm dicken, dicht anliegenden Folie entsprechen.
  - Chemische Nachbehandlungsmittel sind nicht zugelassen.
- Sichtbare Risse müssen durch Injektion geschlossen werden.
- Fugen müssen gegen die anstehenden Flüssigkeiten unter Berücksichtigung mechanischer, thermischer und witterungsbedingter Einwirkungen ausreichend dicht und beständig sein.

12.11.4 Prüfung der Eindringtiefe

Die Prüfung der Eindringtiefe bei FDE-Beton erfolgt i.d.R. an einem in der Mantelfläche abgedichteten Bohrkern. Die Eindringtiefe wird am gespaltenen Prüfkörper ermittelt. Für Betone mit Stahlfasern ist deren Beständigkeit bei Einwirkung wassergefährdender Stoffe im gerissenen Zustand nach Anhang A, Abschnitt A.7 der DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ an Balken zu prüfen.

12.12 Beton für die Landwirtschaft

Beton in der Landwirtschaft ist teils extremen chemischen, physikalischen und mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt. Aber auch die wasserrechtlichen Rahmenbedingungen (Schutz des Grund- und Oberflächenwassers) stellen besondere Anforderungen.

12.12.1 Regelwerk

Für Beton in der Landwirtschaft gelten die grundlegenden Anforderungen der DIN EN 206-1/1045-2. Darüber hinaus gelten die einzelnen Teile der DIN 11622 „Gärfuttersilos, Güllebehälter, Behälter in Biogasanlagen und Fahrsilos“:

- DIN 11622-2 (Gärfuttersilos, Güllebehälter, Behälter in Biogasanlagen)
- DIN 11622-5 (Fahrsilos)
- Bei Verwendung von Schalungssteinen gilt zusätzlich DIN 11622-22.

Als Mindestbauteildicken für Behälter in Ortbeton sind in DIN 11622-2 festgelegt:

- Für Behälter ≥ 10 m^3 und < 20 m^3: 12 cm
- Für Behälter ≥ 20 m^3: 18 cm

12.12.2 Anwendungen

Die wichtigsten Anwendungen von Beton in der Landwirtschaft sind Biogasanlagen, Güllelager, Gärfutter- und Fahrsilos sowie Stallungen und Mehrzweckhallen. Einen Überblick über den Betonangriff bei ausgewählten Bauteilen gibt Tabelle 12.12.2.a.

Biogasanlagen

Biomasse wird mit Hilfe von Mikroorganismen vergoren. Das bei der Gärung entstehende Biogas (Methan, Kohlendioxyd) wird für die Erzeugung von Wärme und Strom genutzt. Herzstück einer Biogasanlage ist der Fermenter, in dem das Gärsubstrat unter aneroben Bedingungen in Biogas umgesetzt wird.

Güllebehälter, Festmistplatten

Gülle, Dung oder Mist fallen in der Rinder-, Schweine- und Geflügelhaltung an und müssen zwischengelagert werden. Gülle und Sickersäfte von Festmist sind schwach wassergefährdend.

Gärfuttersilos/Fahrsilos

In Gärfuttersilos wird aus Grünfutter durch Milchsäuregärung Gärfutter (Silage) hergestellt und gelagert. Die beim Gären entstehenden organischen Säuren mit ph-Werten zwischen 4 und 5 sind als wassergefährdend eingestuft.

Fahrsilos (auch Flachsilos genannt) werden bei Beschickung mit Grünfutter oder Entnahme der Silage durch Schlepper oder Radlader befahren.

Hallen- und Stallböden

Hallenböden dienen in der Landwirtschaft als Lagerstätte für Erntegut, Schüttgüter (Dünger, Streusalze) und Betriebsstoffe (mineralische und pflanzliche Schmier- und Treibstoffe). Sie werden von Fahrzeugen unterschiedlicher Art (Radlader, Transportfahrzeuge, Erntemaschinen) befahren.

Bei Ställen unterscheidet man Kalt- und Warmställe. Tiere in Kaltställen sind ganzjährig der Witterung ausgesetzt. Spaltenböden oder mit mechanisch betriebenen Räumern bestückte Entmistungsbahnen dienen der Beseitigung des Stallmistes.

Tabelle 12.12.2.a: Übersicht über den Betonangriff bei ausgewählten Bauwerken/ Bauteilen für die Landwirtschaft

Bauwerk		Funktion	Betonangriff	
			Betonschädigung	durch
Biogasanlagen (Fermenter) (außen gedämmt, bewehrt)	Flüssigkeitsberührt	Erzeugung von Biogas durch Gärung der Biomasse	Schwacher chemischer Angriff	u. a. Ammonium, Sulfate
	Gasraum		Starker chemischer Angriff	Biogene Schwefelsäure
	Gasraum mit Auskleidung		Schwacher chemischer Angriff	
Güllebehälter (bewehrt)	Offene Behälter, belüftet, im Freien	Lagerung von Gülle, Dung oder Mist	Schwacher chemischer Angriff Physikalischer Angriff	u. a. Ammonium, Sulfate, Nitrate, Frost
	Geschlossene Behälter, im Freien [1)]		Schwacher chemischer Angriff Physikalischer Angriff	u. a. Ammonium, Sulfate, Nitrate, Frost
	Güllekanäle, Güllekeller [1)]		Schwacher chemischer Angriff Physikalischer Angriff	u. a. Ammonium, Sulfate, Nitrate, Frost
Festmistplatten (bewehrt)	Im Freien	Lagerung von Festmist	Schwacher chemischer Angriff Physikalischer Angriff Mechanischer Angriff	Säuregemisch, v. a. Milchsäure, Essigsäure Frost Fahrzeuge
Sickersaftbehälter, (erdüberdeckt)	Mit Beschichtung	Lagerung von Sickersaft aus Gärfuttersilos	Starker chemischer Angriff	Biogene Schwefelsäure
	Mit Auskleidung		Schwacher chemischer Angriff	

Bauwerk		Funktion	Betonangriff	
			Betonschädigung	durch
Gärfuttersilos/ Fahrsilos (bewehrt)	Offene Silos [2]	Herstellung und Lagerung von Gärfutter (Silage)	Starker chemischer Angriff Physikalischer Angriff Mechanischer Angriff (Fahrsilos)	Säuregemisch, v. a. Milchsäure, Essigsäure, Frost Fahrzeuge
Hallenböden (innen, unbewehrt)	Abstellflächen	Fahrzeuge, Maschinen	Mechanischer Angriff	Fahrzeuge
	Lagerflächen	Schüttgüter	Starker chemischer Angriff	Mineraldünger (in wässriger Lösung): u. a. Ammoniumnitrate, Phosphate, Magnesium
			Physikalischer Angriff	Streusalze: Chloride
Stallböden (bewehrt)	Kaltstall (im Freien, überdacht, eingestreut)	Tierhaltung	Schwacher chemischer Angriff Physikalischer Angriff	Ammonium-, Schwefelverbindungen und Nitrate Frost
	Warmstall (innen)		Schwacher chemischer Angriff	Ammonium-, Schwefelverbindungen und Nitrate
	Lauffläche, Entmistungsbahnen [3] (innen, nicht eingestreut)		Schwacher chemischer Angriff Mechanischer Angriff	Ammonium-, Schwefelverbindungen und Nitrate Entmistungsschieber, Räumer

[1] Bildung biogener Schwefelsäure im nicht flüssigkeitsberührten Raum möglich, dann starker chemischer Angriff.
[2] Schutz gegen Regenwasser (Abdeckung) mindert den chemischen Angriff.
[3] Bei Flächen und Bahnen im Freien Frosteinwirkung.

12.12.3 Anforderungen an den Beton

In Tabelle 12.12.3.a sind die wesentlichen Anforderungen an den Beton bei Bauwerken oder Bauteilen in der Landwirtschaft und die sich daraus ergebenden Expositionsklassen einschließlich der Mindestanforderungen an den Beton zusammengestellt.

Tabelle 12.12.3.a: Anforderungen an den Beton bei ausgewählten Bauwerken/ Bauteilen für die Landwirtschaft

Bauwerk		Maßgebliche Expositionsklasse	Feuchtigkeitsklasse	Mindestanforderungen an den Beton	Überwachungsklasse
Biogasanlagen (Fermenter) (außen gedämmt, bewehrt)	Flüssigkeitsberührt	XA1, XC4	WA	C25/30 w/z-Wert ≤ 0,6	ÜK2
	Gasraum	XA3, XC4	WA	C35/45 [1] w/z-Wert ≤ 0,45 (Beschichtung erf.) [2]	ÜK2
	Gasraum mit Auskleidung	XA1, XC3	WF	C25/30 w/z-Wert ≤ 0,6	ÜK2
Güllebehälter [3] (bewehrt)	Offene Behälter, belüftet, im Freien	XA1, XF3 [4], XC4	WA	C35/45 w/z ≤ 0,45 C25/30 (LP) w/z-Wert ≤ 0,55	ÜK2
	Geschlossene Behälter, im Freien	XA1, XF3 [4], XC4	WA (Decke: WF)	C35/45 w/z-Wert ≤ 0,45 C25/30 (LP) w/z-Wert 0,55	ÜK2
	Güllekanäle, Güllekeller	XA1, XC4	WA	C25/30	
Festmistplatten (bewehrt)	Im Freien	XA1 [5], XF3, XC4, XM1	WF	C35/45 w/z-Wert ≤ 0,45 C25/30 (LP) w/z-Wert ≤ 0,55	
Sickersaftbehälter [3] (erdüberdeckt)	Mit Beschichtung	XA3, XC4	WF	C35/45 w/z-Wert ≤ 0,45	ÜK2
	Mit Auskleidung	XA1, XC2		C25/30 w/z-Wert ≤ 0,6	
Gärfuttersilos/ Fahrsilos (bewehrt)	Offene Silos [6]	XA3, XF3, XC4	WF	C35/45 [1] w/z-Wert ≤ 0,45 (Beschichtung erf.)	ÜK2

Bauwerk		Maßgebliche Expositionsklasse	Feuchtigkeitsklasse	Mindestanforderungen an den Beton	Überwachungsklasse
Hallenböden, (innen, unbewehrt)	Abstellflächen für Maschinen	XM1	WO	C30/37 w/z-Wert ≤ 0,55	
		XM2		C35/45 [7] w/z-Wert ≤ 0,45	
	Lagerflächen für Schüttgüter	XA3 (Mineraldünger)	WO	C35/45 [1] w/z-Wert ≤ 0,45 (Beschichtung erforderlich)	
		XD3, XF2 (Streusalze)	WO	C35/45 [1] w/z-Wert ≤ 0,45	
Stallböden (bewehrt)	Kaltstall, im Freien, überdacht, eingestreut	XA1, XF1, XC3	WF	C25/30 w/z-Wert ≤ 0,6	
	Warmstall, innen	XA1, XC3	WF	C25/30 w/z-Wert ≤ 0,6	
	Lauffläche, Entmistungsbahn [8], innen, nicht eingestreut	XA1, XM2	WF	C35/45 [7] w/z-Wert ≤ 0,45	

[1] Bei Verwendung von Luftporenbeton eine Festigkeitsklasse niedriger.
[2] Auf einen Schutz im Gasbereich kann verzichtet werden, wenn prozessbedingt ein starker chemischer Angriff dauerhaft verhindert wird und gasdurchlässige Trennrisse geschlossen werden.
[3] Beton mit hohem Wassereindringwiderstand erforderlich.
[4] XF1 mit C25/30 im Einzelfall möglich.
[5] Bei Geflügelkot ggf. XA2.
[6] Auf einen zusätzlichen Schutz des Betons darf verzichtet werden bei
- luft- und wasserdichter Abdeckung des Siliergutes,
- Höhe des Futterstocks ≤ 3,0 m,
- Füllgutklasse 1 und 2a nach DIN 11622-2, Tabelle A.1,
- XF4.

[7] Mit Oberflächenbehandlung (z. B. Vakuumieren mit nachfolgendem Flügelglätten) C30/37 möglich.
[8] Bei Laufflächen und Entmistungsbahnen im Freien ist mit Taumitteleinsatz zu rechnen: zusätzlich XF2.

12.12.4 Schutz und Nachbehandlung

Der Beton ist in den oberflächennahen Bereichen so lange gegen schädigende Einflüsse, z. B. Austrocknen und starkes Abkühlen, zu schützen, bis eine ausreichende Festigkeit erreicht ist (siehe BTD-Kapitel 10.7).

Für Gärfuttersilos, Güllebehälter, Behälter in Biogasanlagen und Fahrsilos gilt nach DIN 11622:

- Nachbehandlungsdauer bis Erreichen von 70% der charakteristischen Festigkeit des oberflächennahen Betons.
- Ohne genaueren Nachweis sind die in BTD-Kapitel 10.7 genannten Werte zu verdoppeln.
- Genauer Nachweis z. B. durch Messungen der Temperatur im Beton oder der mittleren Tagestemperatur der Luft, Rückprallhammerprüfungen oder Anwendung geeigneter Rechenmodelle möglich, nicht jedoch bei Gärfuttersilos.
- Wasserrückhaltung infolge Nachbehandlung entsprechend einer dicht anliegenden 0,3 mm dicken Folie.

12.13 Dränbeton/Offenporiger Beton

Dränbeton (DB)/Offenporiger Beton (OPB) ist ein haufwerksporiger, hohlraumreicher Beton für die Entwässerung von Verkehrsflächen sowie für lärmmindernde Maßnahmen. Die Haufwerksporen ergeben sich durch ausschließliche Verwendung von einer oder von zwei eng begrenzten Korngruppen, z. B. 5/8 mm (Splitt) oder 8/32 mm (Rundkorn), wobei die Einzelkörner nur an den Kontaktstellen durch eine dünne Zementsteinschicht miteinander verbunden werden.

12.13.1 Eigenschaften

Die Eigenschaften von Dränbeton werden hauptsächlich bestimmt durch:

- Kornzusammensetzung, -größe und -form der Gesteinskörnungen
- Niedrige w/z-Werte (0,25 bis 0,40)
- Stabilität und Adhäsionsverhalten des Zementleims
- Verarbeitbarkeit (z. B. gute Verdichtung, lange Verarbeitbarkeitszeit)

Zur Verbesserung der Frisch- und Festbetoneigenschaften hat sich die Zugabe von Zusätzen wie z. B. Polymerdispersionen und -fasern bewährt:

- Wirkung im Frischbeton:
  - Verbesserung der Verarbeitbarkeit
  - Stabilisierung des Zementleims auf den Oberflächen der Gesteinskörnung (Ablaufverhalten)
- Wirkung im Festbeton:
  - Verbesserung des Haftverbundes zwischen Zementstein und Gesteinskörnung
  - Erhöhung des Frost-Tausalz-Widerstandes
  - Erhöhung der Zugfestigkeit (Spalt- und Biegezugfestigkeit) und Duktilität
  - Herabsetzung des E-Moduls

12.13.2 Anwendung

Haufwerksporige Betone werden eingesetzt für die Entsiegelung von befestigten Flächen und für Lärmschutzmaßnahmen. Anwendungen sind z. B.:

- Versickerungsfähige Schichten im Straßen-, konstruktiven Ingenieur- und Wasserbau
- Betonfilterrohre, Filtersteine und Filterplatten
- Lärmschutzwände
- Lärmmindernde Straßenbeläge
- Schallabsorber im Gleisbau

12.13.3 Anwendung im Verkehrswegebau

Dränbeton eignet sich als Tragschicht bzw. Fahrbahnbelag im Verkehrswegebau Der Hohlraumgehalt ≥ 15 Vol.-% bewirkt eine hohe Wasserdurchlässigkeit (k-Wert) und somit eine Entsiegelung von Verkehrsflächen.

Im Betonstraßenbau gelten die Regelwerke der Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) - siehe BTD-Kapitel 13.3 und 13.4. Sie sind anzuwenden soweit im Folgenden keine anderen Angaben gemacht werden.

Der Einbau von Dränbeton/Offenporigem Beton erfolgt i. d. R. mit einem Straßenfertiger mit Beton-Hochverdichtungsbohle oder einem Gleitschalungsfertiger. In besonderen Fällen kann der Einbau auch händisch mit der Rüttelbohle, Rüttelplatte oder Glattmantelwalze erfolgen.

Dränbetontragschichten (DBT)

Für Tragschichten aus Dränbeton gilt das „Merkblatt für Dränbetontragschichten (M DBT)“ sowie das „Merkblatt für versickerungsfähige Verkehrsflächen (M VV)“ der FGSV.

Dränbetondecken (DBD)

Zur Herstellung von versickerungsfähigen Verkehrsflächen aus Dränbeton gilt das „Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen (M VV)“ der FGSV.

Offenporiger Beton für lärmmindernde Fahrbahnbeläge (OPB)

Zur Lärmminderung von Verkehrsflächen aus Beton kann ein OPB auch als dünner offenporiger Belag (≥ 6 cm) auf einer dichten Betonunterlage mit Verbund (Haftbrücke auf Polymer-, Zementbasis, z. B. Sika MonoTop-602) eingebaut werden.

OPB muss griffig, eben und dauerhaft sein sowie einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand [1)] und ein gutes Dränagevermögen besitzen.

[1)] Die Prüfung kann mit dem im M VV vorgeschlagenen „modifizierten CDF-Verfahren“ erfolgen: Prüfung an Probekörpern ohne seitliche Abdichtung in einem Fußbad von 10 ± 1 mm; Beurteilungskriterium: Abwitterung nach 28 Frost-Tauwechseln maximal 1500 g/cm^2.

12.13.4 Anforderungen an die Ausgangsstoffe für DBT und DBD

Tabelle 12.13.4.a: Anforderungen an die Ausgangsstoffe für DBT und DBD nach FGSV-Merkblatt M DBT, M VV und TL Beton-StB

Ausgangsstoff	Anforderung	
	Dränbetontragschicht (DBT)	Dränbetondecke (DBD)
Zement	nach TL Beton-StB, Tabelle 1: Zemente nach DIN EN 197-1 und DIN 1164: ■ CEM I ■ CEM II/A - (S; D; P/Q; V; T; LL) ■ CEM II/B - (S; P/Q; V-T) ■ CEM II-M/A - (S; D; T; P; V; LL) ■ CEM II-M/B - (S; D; T; P) ■ CEM III/A/B ■ CEM IV/B-P [1] ■ CEM V/A/B - (S; P) [2]	
Gesteinskörnungen	Anforderungen nach TL Gestein-StB bzw. nach TL Beton-StB, Anhang A (Betontragschicht), zusätzlich: ■ Größtkorn D_{max} 32 mm ■ unstetige Sieblinie (Ausfallkörnung) 2/4 oder 2/8 mit möglichst geringem Sandanteil erforderlich ■ gebrochene Gesteinskörnungen für Körnungen > 8 mm empfohlen ■ ausschließliche Verwendung ungebrochener Gesteinskörnungen möglich ■ Kornform grobe Gesteinskörnung: SI_{20}/FI_{20} ■ hoher Frostwiderstand F_2	Anforderungen nach TL Gestein-StB bzw. nach TL Beton-StB, Anhang A (Oberbeton), zusätzlich: ■ Kornform grobe Gesteinskörnung sollte sein: SI_{15}/FI_{15} ■ Anteil gebrochener Oberflächen sollte sein: C90/1 ■ unstetige Sieblinie (Ausfallkörnung) ist anzustreben ■ bei Schichtdicken > 20 cm möglichst mehrere benachbarte Korngruppen verwenden (z. B. 5/8 mm, 8/11 mm und 11/16 mm) ■ zur Verbesserung der Griffigkeit Zugabe einer feinen Gesteinskörnung (z. B. 0/2 mm) mit einem hohen Polierwiderstand PWS ≥ 55 zweckmäßig
Betonzusatzmittel und -zusatzstoffe	■ Verwendung von FM, BV, ST möglich ■ Polymere nur mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung. Bei Zugabe von Polymeren mindestens 60 s Mischzeit	
Zugabewasser	■ Restwasser entsprechend DIN EN 1008 darf verwendet werden bei: ■ bekanntem Feststoffgehalt ■ Einhaltung der maximalen Dichte aus der Erstprüfung	■ Restwasser entsprechend DIN EN 1008 nur für DBD ohne Polymerzusatz erlaubt, bei ■ bekanntem Feststoffgehalt ■ Einhaltung der maximalen Dichte aus der Erstprüfung

[1] Gilt nur für Trass nach DIN 51043 als Hauptbestandteil bis maximal 40 M.-%.
[2] Gilt nur für Trass nach DIN 51043 als Hauptbestandteil.

12.13.5 Anhaltswerte für die Zusammensetzung und Anforderungen an die Betoneigenschaften von DBT, DBD und OPD

Tabelle 12.13.5.a: Anhaltswerte für die Zusammensetzung und Anforderungen an die Betoneigenschaften von DBT, DBD und OPD

		Tragschicht DBT 16, 22, 32 [1]		Dränbetondecke DBD 8 [1]		Fahrbahndecke OPB 8 [1]
Zugabe eines Polymers		**ohne PM**	**mit PM**	**ohne PM**	**mit PM**	**mit PM**
Regelwerk		M DBT / M VV / TL BEB-StB				-
Funktion		Versickerung				Lärmminderung
Zement	32,5 R / 42,5 N	150 – 300 kg/m³		300 – 350 kg/m³		300 – 350 kg/m³
w/z-Wert		0,30 – 0,40				
Gesteinskörnung	Feine GK 0/1, 0/2	150 – 180 kg/m³		-		-
	Grobe GK 5/8	-		1500 – 1800 kg/m³		1500 – 1800 kg/m³
	Grobe GK 8/16, 8/22, 8/32	1500 – 1600 kg/m³		-		-
Zusatzmittel	Fließmittel (FM)	nach Bedarf	1 – 3 kg/m³	nach Bedarf	1 – 3 kg/m³	1 – 3 kg/m³
	Betonverflüssiger (BV)		nach Bedarf		nach Bedarf	nach Bedarf
	Verzögerer (VZ)					
	Stabilisierer (ST)		-		-	-
Zusatzstoff	Polymerdispersion (PM) [2]	-	15 – 34 kg/m³	-	45 – 70 kg/m³	45 – 70 kg/m³
	Polymerfasern (Länge 6 – 12 mm)	-		-	1 – 2 kg/m³	1 – 2 kg/m³
Konsistenz (Einbau)	Verdichtungsmaß	1,30 – 1,45		1,30 – 1,34		
Druckfestigkeit	Würfel, 150 x 150, Zylinder h/d = 1	M DBT/M VV: 10 – 20 MPa TL BEB-StB: ≥ 15 MPa [3]		M DBT/M VV: 10 – 20 MPa		20 – 30 MPa
Zugänglicher Hohlraumgehalt	Tauchwägung nach TP Beton-StB, Teil 3.1.11	M DBT/M VV: ≥ 15 Vol.-% TL BEB-StB: ≥ 18 Vol.-% [3]				18 ± 2 Vol.-%
Wasserdurchlässigkeit [4]	kf-Wert nach TP Beton-StB, Teil 3.1.12 (Labor) bzw. Teil 5.2.05 (in situ)	M DBT: ≥ $1 \cdot 10^{-3}$ m/s M VV: ≥ $5 \cdot 10^{-5}$ m/s		M VV: ≥ $5 \cdot 10^{-5}$ m/s		-

[1] Ziffer steht für das Größtkorn D_{max}.
[2] Die Polymer-Dosiermenge ist komplett auf das Zugabewasser bzw. w/z-Wert anzurechnen.
[3] Gilt für bauliche Erhaltungsmaßnahmen von Verkehrsflächen (TL BEB-StB) für die Erstprüfung.
[4] Die geforderte Wasserdurchlässigkeit wird erfahrungsgemäß bei einem von außen zugänglichen Hohlraumgehalt ≥ 15 Vol.-% erreicht.

12.14 Schaumbeton – Porenleichtbeton

Schaumbeton bzw. Porenleichtbeton (PLB) ist ein Beton mit planmäßig erhöhtem Luftporengehalt von i.d.R. > 30 Vol.-%. Als Ausgangsstoffe werden Zement, Wasser, Gesteinskörnung (vorwiegend bis 2 mm) sowie Schaumbildner oder Schaum verwendet. Schaumbeton ist kein genormter Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

12.14.1 Herstellung

Es sind zwei Herstellverfahren zu unterscheiden:

- Beim **Einmischverfahren** wird der Porenleichtbeton unter Zugabe eines Schaumbildners (siehe BTD-Kapitel 3.15) im Zwangsmischer hergestellt (nur Rohdichten > 1,4 kg/dm³ möglich).
- Beim **Schaumverfahren** wird dem Ausgangsbeton, i.d.R. auf der Baustelle, ein vorgefertigter Schaum untergemischt. Der Schaum wird mit Hilfe eines Schaumgerätes und eines Schaumbildners (siehe BTD-Kapitel 3.15) erzeugt und anschließend dem Frischbeton zugegeben.

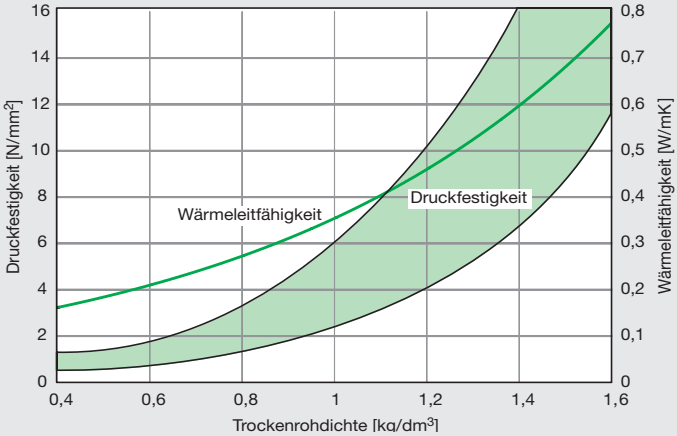
12.14.2 Eigenschaften

Die Rohdichte des Porenleichtbetons kann je nach Anwendungsfall gezielt eingestellt werden. Der übliche Einsatzbereich liegt bei Rohdichten von 0,4 - 1,6 kg/dm³. Rohdichten < 1,0 kg/dm³ bedürfen besonderer Maßnahmen bzgl. Zusammensetzung, Herstellung und Einbau.

Porenleichtbeton hat eine weiche bis fließfähige Konsistenz. Er ist pumpbar und erfordert keine Verdichtung. Durch den hohen Luftporengehalt ist Porenleichtbeton gut wärmedämmend.

Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit sind über die Rohdichte einstellbar (Abbildung 12.14.2.a). Schwinden und Kriechen nehmen mit abnehmender Rohdichte zu.

Abbildung 12.14.2.a: Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit von Porenleichtbeton in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte



12.14.3 Anwendung

PLB eignet sich für alle Anwendungen, bei denen gute Fließfähigkeit, geringes Gewicht bzw. gute Wärmedämmung des Betons gefordert sind:

- Verfüllungen im Hoch- und Tiefbau, z. B. Tanks, Rohrleitungen, Kanäle, Gräben, Stollen
- Ausgleichsschichten, z. B. Flachdächer
- Aufbetone auf bestehende Tragwerke
- Wärmedämmschichten, z. B. Altbausanierung
- Tragschichten, z. B. unter Industrieböden

13 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen ZTV

13.1 ZTV-ING für Ingenieurbauten: Teil 3, Massivbau

Die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für Ingenieurbauten“ gelten für den Bau und die Erhaltung von Ingenieurbauwerken nach DIN 1076, insbesondere Brücken, Tunnel und Lärmschutzwände im Straßenwesen.

Die ZTV-ING übernimmt die grundlegenden Anforderungen der Normen DIN EN 206-1/DIN 1045-2, stellt jedoch zusätzliche Anforderungen bzw. weicht in einzelnen Punkten von den Regelungen der Norm ab. Nachfolgend sind die Anforderungen der ZTV-ING genannt. Hochfester Beton und selbstverdichtender Beton dürfen nur mit Zustimmung des Auftraggebers verwendet werden.

13.1.1 Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Tabelle 13.1.1.a: Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Ausgangs-stoff	Anforderung
Zement	▪ nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10 oder DIN EN 1164-11 ▪ CEM II/P-Zemente dürfen nur verwendet werden, wenn als Hauptbestandteil Trass nach DIN 51043 zugegeben wird ▪ bei Verwendung von nicht genormten Zementen bauaufsichtliche Zulassung erforderlich ▪ bei Verwendung von CEM II/M-Zementen gemäß Tabelle F 3.2 in DIN EN 2061/DIN 1045-2 Zustimmung des Auftraggebers erforderlich ▪ für Kappenbeton dürfen CEM III-Zemente nicht verwendet werden ▪ für Schutzwände bei Verwendung von CEM III-Zementen in Beton: nur CEM III/A-Zemente mit einem Hüttensandanteil ≤ 50 M.%
Zusatz-stoffe	▪ nach DIN EN 12620, DIN EN 12878, DIN EN 450-1, DIN EN 13263-1, DIN 51043 ▪ bei Verwendung von nicht genormten Zusatzstoffen bauaufsichtliche Zulassung erforderlich
Zusatz-mittel	▪ nach DIN EN 934-1, DIN EN 934-2 und DIN EN 934-4 ▪ bei Verwendung von nicht genormten Zusatzmittteln bauaufsichtliche Zulassung erforderlich
Zugabe-wasser	▪ wenn Eignung des Wassers zur Betonherstellung untersucht wurde, Ergebnisse dem Auftraggeber vorlegen
Gesteins-körnungen	▪ nach DIN EN 12620 oder DIN EN 13055-1 ▪ für grobe Gesteinskörnungen zusätzlich zu den Anforderungen nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2: - Anteil leichtgewichtiger organischer Verunreinigungen ≤ 0,05 M.-% - bei gebrochenem Korn mindestens SI_{20} - enggestufte Kornzusammensetzung - Korngemische und natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnungen 0/8 dürfen nicht verwendet werden ▪ für feine Gesteinskörnungen zusätzlich zu den Anforderungen nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2: - Anteil leichtgewichtiger organischer Verunreinigungen ≤ 0,25 M.-%

13.1.2 Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Tabelle 13.1.2.a: Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Ausgangs-stoff	Anforderung
Gesteins-körnung	■ Größtkorn ≤ 8 mm: mindestens 2 Korngruppen verwenden ■ Größtkorn > 8 mm: mindestens 3 Korngruppen verwenden ■ Frost-Tau-Widerstand der Gesteinskörnung mindestens Kategorie F_2 ■ Nachweis des Frost-Tausalz-Widerstandes bei XF2 und XF4: Masseverlust ≤ 8 M.-% gemäß DIN EN 1367-6: (NaCl-Verfahren) ■ bei grober Gesteinskörnung und Masseverlust > 8 M.-%: Betonprüfung nach DIN V 18004 (Platten- oder CDF-Verfahren), wobei - Abwitterungen ≤ 500 g/m² [1)] - keine Hinweise auf Verwitterung bei visueller Prüfung erkennbar
Zusatz-stoffe	■ Gehalt an Flugasche f ≤ 60 M.-% bezogen auf Zement ■ anrechenbarer Flugaschegehalt f ≤ 80 kg/m³ ■ Zugabe von Flugasche zu Beton mit CEM III/B zugelassen für Gründungsbauteile (z. B. Bohrpfähle), bei anderen Anwendungen nur mit Zustimmung des Auftraggebers ■ in Beton für Kappen (XF4 und XD3) darf Flugasche nicht auf den Zementgehalt angerechnet werden ■ Anrechnung von Flugasche bei Beton XF2 - unter Verwendung von CEM I oder CEM II/A zulässig - bei anderen Zementen ist Zustimmung des Auftraggebers erforderlich ■ Anrechnung von Flugasche bei Beton XF4 nur mit Zustimmung des Auftraggebers ■ Silikastaubzugabe nur in Form von Silikasuspension (siehe BTD-Kapitel 4.1), Ausnahme: Betontrockengemisch für Spritzbeton ■ gleichzeitige Verwendung von Flugasche und Silikastaub, auch als Zementbestandteile, nur mit Zustimmung des Auftraggebers
Zusatz-mittel	■ je Wirkungsgruppe nur ein Betonzusatzmittel ■ keine Zusatzmittel mit den Wirkstoffgruppen Saccharose und Hydroxycarbonsäure, gilt auch für Mischprodukte ■ Verzögerungszeiten > 12 h mit dem Auftraggeber abstimmen ■ Nachdosierung von Fließmitteln erlaubt; Bedingung: Konsistenz vor Nachdosierung darf nicht steifer sein als vor der Erstdosierung auf der Baustelle ■ bei Verwendung von Luftporenbildnern Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton der FGSV beachten ■ Verwendung von Fließmittel der Wirkstoffgruppen Polycarboxylat und Polycarboxylatether nur mit gleichen Betonausgangsstoffen und im gleichen Temperaturbereich wie in der Erstprüfung

[1)] Abwitterungen > 500g/m² möglich, wenn ausreichender Frost-Tausalz-Widerstand in Expositionsklasse XF4 nachgewiesen.

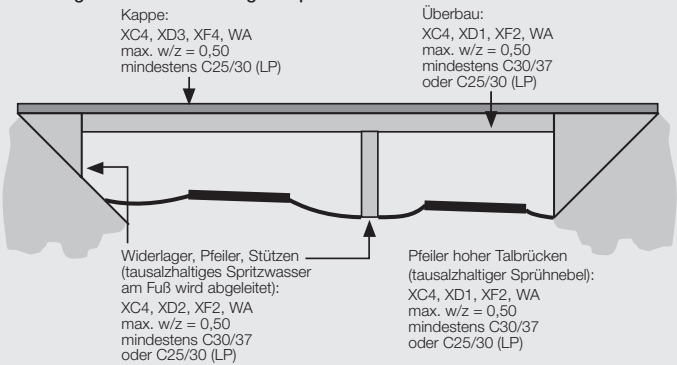
13.1.3 Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Grundsätzlich erfolgt die Zuordnung von Bauteilen zu den Expositions- und Feuchtigkeitsklassen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Alle Bauwerke im Bereich der Bundesfernstraßen sind der Feuchtigkeitsklasse WA zuzuordnen. Für die Expositionsklassen XD1 bis XD3 und XF2 bis XF4 regelt die ZTV-ING die Zuordnung von Bauteilen wie in Tabelle 13.1.3.a dargestellt.

Tabelle 13.1.3.a: Zuordnung von Bauteilen zu den Expositionsklassen XD und XF

Bauteil		Expositionsklassen
Betonflächen im Sprühnebelbereich		XD1, XF2
nicht vorwiegend horizontale Betonflächen im Spritzwasserbereich		XD2, XF2
vorwiegend horizontale Betonflächen im Spritzwasserbereich bzw. direkt mit tausalzhaltigem Wasser oder Schnee beaufschlagt		XD3, XF4
Betonschutzwände		XD3, XF4
Gründungen		XD2
Trogsohlen und Tunnelsohlen	als Weiße Wanne ausgeführt	XD2
	mit außenliegender Folienabdichtung	XD1
Tunnelinnenschalen von zweischalig ausgeführten Tunneln in geschlossener Bauweise ohne Wasserdruck oder mit außenliegender Folie		XD1, XF2
Tunnelwände und -decken von Tunneln in offener Bauweise	ohne Wasserdruck oder mit außenliegender Folie	XD1, XF2
	als wasserundurchlässige Konstruktion ausgeführt	XD2, XF2
Einfahrtsbereiche von Tunneln		XD2, XF2

Abbildung 13.1.3.a: Anwendungsbeispiel Brücke



Für die Grenzwerte der Betonzusammensetzung sind folgende Regelungen abweichend von DIN EN 206-1/DIN 1045-2 zu beachten:

- Widerlager, Stützen, Pfeiler, Bohrpfähle, Tunnelsohlen, Tunnelwände, Tunnelschalen, Trogsohlen und Trogwände eingestuft in XD2, XF2, XF3 oder XA2 ohne Luftporenbildner: Mindestdruckfestigkeitsklasse C30/37 nach 28 Tagen
- Expositionsklasse XF2: maximaler w/z-Wert = 0,50
- Kappen eingestuft in XF4 und XD3: Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30 nach 28 Tagen, maximaler w/z-Wert = 0,50
- Mindestluftgehalt bei LP-Beton: siehe Tabelle 13.1.4.b

Tabelle 13.1.3.b: Grenzwerte der Betonzusammensetzung

Expositionsklasse	XF2		XF3		XD3 und XF4	XD2	XA2
maximaler w/z-Wert	0,50	0,50	0,50	0,55	0,50 [3]	0,50	0,50
Mindestdruck-festigkeitsklasse [1]	C25/30	C30/37 [2]	C30/37 [2]	C25/30	C25/30 [3]	C30/37 [2]	C30/37 [2]
Mindestzement-gehalt [kg/m³]	300	320	320	300	320	320	320
Mindestzement-gehalt bei Anrech-nung von Zusatz-stoffen [5] [kg/m³]	270	270	270		keine Anrech-nung	270	270
Mindestluft-gehalt [%]	siehe Tabelle 13.1.4.b	-	-	siehe Tabelle 13.1.4.b	siehe Tabelle 13.1.4.b	-	-
andere Anforderungen	Gesteinskörnungen mit Regelanforderungen und zusätzlich Widerstand gegen Frost bzw. Frost- und Taumittel					-	[4]
	F_2 [6]		F_2		F_2 [6]	F_2	F_2

Grau gekennzeichnete Zellen: Abweichung von DIN EN 206-1/DIN 1045-2

[1] Bei massigen Bauteilen siehe Abschnitt 13.1.4.
[2] Gilt nur für Widerlager, Stützen, Pfeiler, Überbauten, Bohrpfähle, Tunnelsohlen, Tunnelwände, Tunnelschalen, Trogsohlen und Trogwände.
[3] Gilt nur für Kappen.
[4] Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen Meerwasser) muss für die Expositionsklasse XA2 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) verwendet werden.
[5] Bei Expositionsklasse XF2 Anrechnung von Flugasche nur bei CEM I und CEM II/A, Anrechnung bei weiteren Zementarten nur mit Zustimmung des Auftraggebers.
[6] Zusätzlich Nachweis des Frost-Tau-Widerstandes an der Gesteinskörnung (siehe Tabelle 13.1.2.a.

13.1.4 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton

Tabelle 13.1.4.a: Anforderungen an den Frisch- und Festbeton

Beton	Anforderung
Frischbeton	■ Frischbetontemperatur darf + 30° nicht überschreiten ■ Frischbetontemperatur bei der Herstellung von Tunnelinnenschalen zweischalig ausgeführter Tunnel sowie Tunnelwänden und -decken von Tunneln in offener Bauweise: i.d.R. T ≤ 25 °C an der Einbaustelle ■ Luftgehalt des Frischbetons an der Einbaustelle bei LP-Beton: siehe Tabelle 13.1.4.b ■ Zugabe von Fließmittel (FM): - Zugabe zur Konsistenzklasse F2 bzw. C2 oder steifer - Zugabe zur Konsistenzklasse F3 bzw. C3 nur, wenn diese durch verflüssigende Zusatzmittel eingestellt wurde - Konsistenzklasse F6 nur mit Zustimmung des Auftraggebers ■ planmäßig vorgesehene nachträgliche Wasserzugabe nur bei Beton für Ortbetonpfähle (Zustimmung des Auftraggebers erforderlich) ■ bei Übergabe muss die Frischbetonkonsistenz innerhalb der Grenzen der vereinbarten Konsistenzklasse oder des Zielwertes liegen
Festbeton	■ Bestimmung der Druckfestigkeitsklasse i.d.R. im Prüfalter von 28 Tagen ■ bei Bauteilen mit kleinster Abmessung ≥ 0,60 m und zu berücksichtigendem Zwang aus abfließender Hydratationswärme darf in Anlehnung an DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ - die Druckfestigkeitsklasse im Prüfalter von 56 Tagen bestimmt werden, - in den Expositionsklassen XD2, XD3, XF2, XF3 oder XA2 (ohne Luftporen) die Mindestdruckfestigkeit C30/37 betragen. Dafür müssen folgende Bedingungen erfüllt sein: - Berücksichtigung des Prüfalters > 28 d bei der Bemessung - Festigkeitsentwicklung langsam oder sehr langsam (r < 0,30) - bei XF2 Verwendung von CEM III/A bzw. CEM III/B oder CEM I bzw. CEM II/A mit Flugasche (min. f = 20 % von (z+f) und min. (z+f) ≥ 300 kg/m³), Flugascheanrechnung nach Tabelle 13.1.2.a - bei Bauteilen ohne Frostangriff mit oder ohne Tausalz Verwendung von CEM III/A, CEM III/B bzw. CEM II/B-V oder sonstigen Zement mit Flugasche (min. f = 20 % von (z+f) und min. (z+f) ≥ 300 kg/m³), Flugascheanrechnung nach Tabelle 13.1.2.a - Angabe im Betonierplan, wie Alter > 28 d bezüglich Ausschalfristen, Nachbehandlungsdauer und Bauablauf zu berücksichtigen ist - Abfrage des Prüfalters und der Auswirkungen des Prüfalters > 28 d beim Hersteller durch den Auftragnehmer und Vorlage beim Auftraggeber zwei Wochen vor Betonierbeginn - Vermerk auf dem Lieferschein zum Prüfalter 56 d ■ für Beton nach Zusammensetzung ist Zustimmung des Auftraggebers erforderlich ■ sichtbar bleibende geschalte Betonflächen sind nach DBV/VDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ in der Sichtbetonklasse SB2 und abweichend davon in der Ebenheit E2 auszuführen ■ falls der Frost-Tausalz-Widerstand von Beton der Expositionsklasse XF4 geprüft werden soll, Prüfung mit dem CDF-Verfahren nach dem BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“; Kriterium: Abwitterung ≤ 1500 g/m² (Mittelwert der Prüfserie) und ≤ 1800 g/m² (95 % Quantil) je nach 28 FTW (Seitliche Abdichtung der Prüfkörper nur mit aluminiumkaschiertem Butylklebeband)

Tabelle 13.1.4.b: Luftgehalt des Frischbetons bei LP-Beton

Größtkorn [mm]	Mittlerer Mindestluftgehalt [Vol.-%] [1] für Beton der Konsistenz		
	C1 ohne FM oder BV	C2 bzw. F2 und F3 C1 mit FM oder BV	≥ F4 [3]
8	5,5	6,5 [2]	6,5 [2]
16	4,5	5,5 [2]	5,5 [2]
32	4,0	5,0 [2]	5,0 [2]

[1] Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten.
[2] Wenn bei der Erstprüfung nachgewiesen wird, dass die Grenzwerte für die Luftporenkennwerte am Festbeton entsprechend Tabelle 13.1.4.c eingehalten werden, gilt ein um 1 % niedrigerer Mindestluftgehalt Für diesen Nachweis bei der Erstprüfung darf der Luftgehalt des Frischbetons bei einem Größtkorn von 8 mm 6,0 Vol -%, von 16 mm 5,0 Vol -% und von 32 mm 4,5 Vol -% nicht überschreiten. Bei der Übergabe des Betons auf der Baustelle sind die Werte der Tabelle 13.1.4.b maßgebend.
[3] Bei Ausbreitmaßklasse F6 sind die Luftporenkennwerte am Festbeton entsprechend Tabelle 13.1.4.c nachzuweisen.

Tabelle 13.1.4.c: Luftporenkennwerte des Festbetons

Art der Prüfung	Mikroluftporengehalt A_{300} [Vol.-%]	Abstandsfaktor L [mm]
Erstprüfung	≥ 1,8	≤ 0,20
Prüfung am Bauwerk und Kontrollprüfungen	≥ 1,5	≤ 0,24

13.1.5 Nachbehandlung

Der Beton ist durch geeignete Maßnahmen nach DIN EN 13670/DIN 1045-3, Abschnitt 2.8.7, Absatz NA.3, vor übermäßigem Verdunsten von Wasser zu schützen (siehe auch BTD-Kapitel 10.7.2). Der Nachbehandlungsumfang und die Nachbehandlungsdauer sind so auszulegen, dass die Temperaturdifferenz im Bauteil möglichst gering gehalten wird. Abweichend von DIN EN 13670/1045-3, Abschnitt 2.8.7, Absatz NA.3, ist ein Wegfall der Nachbehandlung bei rel. Luftfeuchte ≥ 85 % nicht zulässig.

Nachbehandlungsmittel dürfen nicht in Arbeitsfugen und nicht für geschalte Betonoberflächen oder Oberflächen, die beschichtet werden sollen, verwendet werden. An horizontalen Betonoberflächen dürfen Nachbehandlungsmittel des Typs BH oder BM gemäß den Technischen Lieferbedingungen für flüssige Betonnachbehandlungsmittel (TL NBM-StB) eingesetzt werden.

Abweichend von DIN EN 13670/DIN 1045-3 muss Beton in den Expositionsklassen XC2, XC3, XC4, XF, XD und XA so lange nachbehandelt werden, bis die Festigkeit des oberflächennahen Betons 70 % der charakteristischen Festigkeit des Betons erreicht hat. Wird dieser Nachweis nicht durchgeführt, ist die nach Tabelle 10.7.3.b erforderliche Nachbehandlungsdauer zu verdoppeln. Tabelle 10.7.3.c ist nicht anzuwenden.

13.2 ZTV-W für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton

Die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215)“ gelten für den Bau von Schleusen, Wehren, Sperrwerken, Schöpfwerken, Dükern, Durchlässen, Hafenbauten, Uferwänden usw. einschließlich Nebenanlagen, jedoch nicht für Straßen- und Eisenbahnbrücken sowie Tunnel. Sie gelten in Verbindung u. a. mit DIN EN 1992-1-1/NA; DIN EN 206-1/DIN 1045-2 sowie DIN EN 13670/DIN 1045-3.

Ergänzend zur ZTV-W gilt im Hinblick auf Probleme bei der Mischungsstabilität von Beton der Brief 01/2015 der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Einführung durch das Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur (BMVI) mit dem Erlass WS 12/2557.6/4 vom 4.5.2015.

13.2.1 Expositionsklassen

Tabelle 13.2.1.a: Zuordnung von Bauteilen zu den Expositionsklassen (Beispiele)

Expositionsklasse	Beispiele aus dem Wasserbau [1)]
X0	Unbewehrter Kernbeton bei zonierter Bauweise
XC1	Sohlen von Schleusenkammern, Sparbecken oder Wehren, Schleusenkammerwände unterhalb UW [2)], hydraulische Füll- und Entleersysteme
XC2	Schleusenkammerwände im Bereich zwischen UW [2)] und OW [2)]
XC3	Nicht frei bewitterte Flächen (Außenluft, vor Niederschlag geschützt)
XC4	Freibord von Schleusenkammer- oder Sparbeckenwänden, Wehrpfeiler oberhalb NW [2)], freibewitterte Außenflächen, Kajen
XD1	Wehrpfeiler im Sprühnebelbereich von Straßenbrücken
XD2	-
XD3	Plattformen von Schleusen, Verkehrsflächen, Treppen an Wehrpfeilern
XS1	Außenbauteile in Küstennähe
XS2	Sperrwerksohlen, Wände und Gründungspfähle unter NNTnW [2)]
XS3	Gründungspfähle, Kajen, Molen und Wände oberhalb NNTnW [2)]
XF1	Freibord von Sparbeckenwänden, Wehrpfeiler oberhalb HW [2)]

Expositions-klasse	Beispiele aus dem Wasserbau [1)]
XF2	Vertikale Bauteile im Spritzwasserbereich und Bauteile im unmittelbaren Sprühnebelbereich von Meerwasser
XF3	Schleusenkammerwände im Bereich zwischen UW [2)] – 1,0 m und OW [2)] + 1,0 m, Ein- und Auslaufbereiche von Dükern und Wehrpfeiler zwischen NW [2)] und HW [2)]
XF4	Vertikale Flächen von Meerwasserbauteilen wie Gründungspfähle, Kajen und Molen im Wasserwechselbereich, meerwasserbeaufschlagte horizontale Flächen, Plattformen von Schleusen, Verkehrsflächen, Treppen an Wehrpfeilern
XA1	-
XA2	Betonbauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen
XA3	-
XM1	Flächen mit Beanspruchung durch Schiffsreibung, Bauteile für die Energieumwandlung mit feinkörniger Geschiebefracht, Eisgang
XM2	Wehrrücken und Bauteile für die Energieumwandlung (Tosbecken, Störkörper) mit grobkörniger Geschiebefracht
XM3	Bauteile in Gebirgsbächen oder Geschiebeumleitstollen
WO	Allgemein: Bei nicht massigen Bauteilen mit d ≤ 0,80 m. Innenbauteile von Wasserbauwerken, die nicht permanent einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80% ausgesetzt werden
WF	Allgemein: Stets bei massigen Bauteilen mit d < 0,80 m, unabhängig vom Feuchtezutritt. Betonbauteile von Wasserbauwerken mit freier Bewitterung oder zeitweiser oder dauernder Wasserbeaufschlagung im Binnenbereich. Innenbauteile von Wasserbauwerken mit einer relativen Luftfeuchte von meist mehr als 80%.
WA	Betonbauteile von Wasserbauwerken, die mit Meerwasser in Berührung kommen. Betonbauteile von Wasserbauwerken, auf die Tausalze einwirken.
WS	Wasserbaulich nicht relevant

[1)] Beispiele gelten für die überwiegende Beanspruchung während der Nutzungsdauer. Abweichende Umgebungsbedingungen während der Bauzeit oder Nutzung führen i.a. nicht zu Schäden.

[2)] UW – Unterwasser, OW – Oberwasser, NW – Niedrigwasser, HW – Hochwasser, NNTnW – Tideniedrigwasser bezogen auf Normalnull.

13.2.2 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Tabelle 13.2.2.a: Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Ausgangsstoff	Anforderung
Zement [1]	■ folgende Zemente nach DIN EN 197-1 und DIN 1164-10: – CEM I – CEM II/A-S, CEM II/B-S – CEM II/A-T, CEM II/B-T – CEM II/A-LL – CEM II/A-M (S-LL), CEM II/A-M (S-T), CEM II/B-M (S-T), CEM II/A-M (T-LL) – CEM III/A, CEM III/B
Gesteins-körnung	■ Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 sowie leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1 mit Konformitätsbescheinigung "2+" ■ industriell hergestellte Gesteinskörnungen nicht zulässig ■ Unschädlichkeit von Feinanteilen feiner Gesteinskörnungen ist nachzuweisen ■ Nachweis des Frost- oder Frost-Tausalz-Widerstandes nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Anhang U, darf zu keinem Zeitpunkt während der Bauausführung älter als 6 Monate sein. ■ rezyklierte Gesteinskörnungen nicht zulässig
Zugabewasser	■ nach DIN EN 1008 ■ anderes Wasser als Trinkwasser, Brunnenwasser oder Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung nicht zulässig
Zusatzmittel	■ BV/FM (nur auf Basis von Lignin-, Melamin- oder Naphthalinsulfonat) [2] ■ PCE-haltige BV/FM nur bei massigen Bauteilen (kleinste Bauteilabmessung > 0,80 m) und nur mit erweiterter Eignungsprüfung (siehe Tabelle 13.2.6.a) ■ LP, VZ ■ andere Zusatzmittel nicht zulässig
Zusatzstoffe	■ Flugasche nach DIN EN 450-1 ■ Wechsel der Flugasche bei Lieferengpässen nur nach Abstimmung mit dem Auftraggeber und neuen Eignungsprüfungen ■ Silikastaub nicht zulässig

[1] Bei massigen Bauteilen mit d > 0,80 m nur Zemente mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung (LH-Zemente DIN EN 197-1)

[2] Sofern damit die Konsistenzeinstellung bei Betonen mit w/z-Wert < 0,45 nachweislich nicht möglich ist, sind mit dem Auftraggeber projektspezifische Festlegungen abzustimmen.

13.2.3 Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Tabelle 13.2.3.a: Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Ausgangsstoff	Anforderung
Zement	▪ nur Zement eines Zementwerkes ▪ mehrere Zementsorten in einem Beton sind nicht zulässig
Gesteinskörnung	▪ stetige Sieblinie zwischen A und B ▪ bei D_{max} > 8 mm mindestens 3 getrennte Korngruppen ▪ bei massigen Bauteilen: GK mit $D_{max} \geq 32$ mm ▪ leichtgewichtige organische Verunreinigungen – feine Gesteinskörnungen: ≤ 0,25 M.-% – grobe Gesteinskörnungen: ≤ 0,05 M.-% ▪ Kornform von gebrochenen groben Gesteinskörnungen mindestens SI_{40} ▪ Zertrümmerungswiderstand von Gesteinskörnungen aus gebrochenem Felsgestein mindestens LA_{50} oder SZ_{32} ▪ eng gestufte Kornzusammensetzung der groben Gesteinskörnung ▪ keine Korngemische ▪ keine natürlich zusammengesetzte (nicht aufbereitete) Gesteinskörnung ▪ Beurteilung und Verwendung von Gesteinskörnungen bezüglich einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion nach der Alkali-Richtlinie des DAfStb und dem ministeriellen Einführungserlass durch das BMVI
Zusatzmittel	▪ je Wirkungsgruppe nur ein Betonzusatzmittel ▪ nur Zusatzmittel eines Herstellers innerhalb eines Betons ▪ Gesamtmenge an Zusatzmitteln ≤ 50 g/kg Zement ▪ keine Zusatzmittel mit den Wirkstoffgruppen Saccharose und Hydroxycarbonsäure ▪ Verwendung von PCE-haltigen FM in bestimmten Fällen erlaubt; Bedingung: Gleiche Betonausgangsstoffe und gleicher Temperaturbereich wie in der Erstprüfung (siehe hierzu auch Tabelle 13.2.2.a) ▪ einmalige Nachdosierung von Fließmitteln erlaubt; Bedingung: Konsistenz vor Nachdosierung darf nicht steifer sein als vor der Erstdosierung auf der Baustelle ▪ Verzögerungszeiten > 12 h sind mit dem Auftraggeber abzustimmen

13.2.4 Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Für die Grenzwerte der Betonzusammensetzung sind abweichend von DIN EN 206-1/DIN 1045-2 die in Tabelle 13.2.4.a aufgeführten Regelungen zu beachten.

Tabelle 13.2.4.a: Anforderungen in Abhängigkeit von Expositionsklassen

Expositions-klasse	Anforderung
XC1, XC2	▪ w/z-Wert > 0,65 nicht zulässig
XF3	▪ Frostwiderstandsklasse der Gesteinskörnungen: F_1 ▪ Mindestluftgehalt gemäß DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Tabelle F.2.2, Fußnote f ▪ Frostprüfungen am Festbeton nach Merkblatt der Bundesanstalt für Wasserbau im Rahmen der Eignungsprüfung erforderlich
XF4	▪ Frostprüfungen am Festbeton nach Merkblatt der Bundesanstalt für Wasserbau im Rahmen der Eignungsprüfung erforderlich
XD2, XD3, XS4, XS3	▪ CEM I und CEM II mit Flugasche ≥ 20 M.-% von (z+f) ▪ CEM III/A mit Flugasche ≥ 10 M.-% von (z+f) ▪ CEM III/B
XM2	▪ Rundkorn mit einem quarzitischen Anteil ≥ 70 % ▪ Größtkorn 16 mm ▪ w/z-Wert ≤ 0,45 ▪ Mindestzementgehalt: 270 kg/m³
XC4, XD3, XF4 ggf. XM1	Sonderregelungen für Planiebereiche von Schleusenkammern und -häupten nach Abschnitt 5.3 (56) der ZTV-W, Leistungsbereich 215

Tabelle 13.2.4.b: Sonderbestimmungen für massige Bauteile in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Expositionsklasse	Sonderbestimmung
XF3 in Verbindung mit XC2 bzw. XC4, ggf. XM1	Abweichend von DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton darf bei Verwendung von CEM I, CEM II-A, CEM II/B-S oder CEM III/A und Sicherstellung eines hohen Frostwiderstandes durch Zusatz von Luftporenbildnern - die Mindestdruckfestigkeitsklasse auf C 20/25 - der Mindestzementgehalt auf 270 kg/m³ festgelegt werden

13.2.5 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton

Tabelle 13.2.5.a: Anforderungen an den Frisch- und Festbeton

Beton	Anforderung
Frisch-beton	■ Festlegung der Konsistenz über einen Zielwert ± 30 mm (zul.Toleranz) ■ Zielwert des Ausbreitmaßes ≤ 490 mm, ausgenommen Beton für Sichtflächen und Zweitbeton ■ Beton der Konsistenzklassen ≥ F4 ist mit verflüssigenden Zusatzmitteln herzustellen; die Ausgangskonsistenz muss ≤ F2 sein. ■ bei gleichzeitiger Verwendung von BV/FM und LP den Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% erhöhen. ■ Frischbetontemperatur: ■ Beton für Bauteile mit Abmessung < 0,80 m: ≤ + 30 °C an der Einbaustelle [1] ■ Beton für massige Bauteile mit d ≥ 0,80 m: ≤ + 25 °C an der Einbaustelle und ■ maximale Temperaturerhöhung $\Delta T_{qadiab,7d}$: siehe Tabelle 13.2.5.b und ■ maximale Bauteiltemperatur $\Delta T_{qadiab,7d} + T_{Beton}$: siehe Tabelle 13.2.5.b ■ nachträgliche Wasserzugabe ist nicht erlaubt. ■ Mischzeiten [2] [3]: ■ Betone ohne LP: Nassmischzeit nach Zugabe aller Ausgangsstoffe ≥ 60 s ■ Betone mit LP: Nassmischzeit nach Zugabe aller Ausgangsstoffe einschließlich LP-Bildner ≥ 60 s, anschließend Zugabe von BV/FM mindestens weitere 60 s mischen ■ Betontransport: Im Fahrmischer mit langsam drehender (Fahrzeit und Wartezeit auf der Baustelle) Trommel. Unmittelbar vor der Entladung mindestens 120 s den Beton aufmischen
Fest-beton	■ Nachweis der Druckfestigkeitsklasse: ■ i. d. R. im Alter von 28 d ■ bei massigen Bauteilen nach DAfStb-Richtlinie auch im Alter von 56 d; späterer Nachweis nur mit Zustimmung des Auftraggebers ■ Druckfestigkeit von Beton für massige Bauteile: $f_{cm,28}$ ≤ Grenzwert aus Tabelle 13.2.5.b ■ Wassereindringtiefe nach DIN EN 12390-8: ≤ 30 mm ■ Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes mit dem CDF-Verfahren nach BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“; Kriterium: Abwitterung ≤ 1500 g/m³ nach 28 FTW

[1] Für Planiebereiche Frischbetontemperatur an der Einbaustelle ≤ 25 °C.
[2] Je nach Art des Mischwerks können längere Mischzeiten erforderlich sein.
[3] Die Mischzeiten der einzelnen Chargen sind automatisch auf dem Lieferschein zu dokumentieren.

Tabelle 13.2.5.b: Anforderungen an die Betontemperatur bei massigen Bauteilen (≥ 0,80 m)

Expositionsklasse	$\Delta T_{qadiab,7d}$ [1) 2)] [K]	$\Delta T_{qadiab,7d} + T_{Beton}$ [3)] [°C]	$f_{cm,cube,28d}$ [4)] [N/mm²]
XC1, XC2	≤ 28 (33)	≤ 53	≤ 41
XC1, XC2 + XA1	≤ 31 (36)	≤ 56	≤ 43
XC1 / XC2 + XA2 (+ XS2)	≤ 36 (41)	≤ 61	≤ 46
XC1...4 + XF3 (+ XM1)			
XC1...4 + XF4 + XS3 + XA2 (+ XM1)	≤ 40 (45)	≤ 65	≤ 49

1) Die quasiadiabatische Temperaturerhöhung ist im Rahmen der Erstprüfung entweder an einem großformatigen Betonblock oder alternativ lt. Bauvertrag im Betonkalorimeter oder rechnerisch zu bestimmen.
2) Werte in Klammern gelten für Frischbetontemperaturen ≤ 15 °C.
3) Maximale Bauteiltemperatur.
4) Kann für massige Bauteile (siehe Tabelle 13.2.5.a) auch als $f_{cm,cube,56d}$ bestimmt werden, jedoch ist $f_{cm,cube,28d}$ auch bei abweichendem Prüfzeitpunkt einzuhalten.

13.2.6 Eignungsprüfung und zusätzliche Prüfungen

Es sind mindestens folgende Standardprüfungen durchzuführen:

am Frischbeton:

- visuelle Beurteilung der Frischbetoneigenschaften (z. B. Wasserabsondern, Zusammenhaltevermögen, Fließverhalten und Absetzverhalten)
- Frischbetontemperatur
- Konsistenz des Frischbetons. Bei Konsistenzklasse ≥ F4 Nachweise für den Frischbeton vor der Zugabe von Zusatzmitteln. Sedimentationsstabilität (siehe Tabelle 13.2.6.a)

am Festbeton:

- Druckfestigkeit einschließlich (Festigkeitsentwicklung $r = f_{cm,2d}/f_{cm,28d}$). Druckfestigkeit im Alter von 2, 7 und 28 Tagen. Bei Nachweis der Druckfestigkeitsklasse in einem höheren Alter zusätzlich auch in diesem Alter.
- Spaltzugfestigkeit im Alter von 2, 7 und 28 Tagen. Bei Nachweis der Druckfestigkeitsklasse in einem höheren Alter zusätzlich auch in diesem Alter.

- Wassereindringwiderstand (e ≤ 30 mm) nach 28 Tagen Mischungsstabilität (siehe Tabelle 13.2.6.a)

Für bestimmte Betone und Expositionsklassen sind zusätzliche Prüfungen erforderlich:

- verzögerter Beton: Ansteifverhalten
- LP-Beton: Luftgehalt im Frischbeton am Einbauort
- Massige Bauteile: Quasiadiabatische Temperaturerhöhung an großformatigen Betonblöcken (2,0 x 2,0 x 2,0 m) nach 7 Tagen, statischer E-Modul im Alter von 2, 7 und 28 Tagen. Bei Nachweis der Druckfestigkeitsklasse in einem höheren Alter auch in diesem Alter. Bei PCE-haltigen Betonen: siehe Tabelle 13.2.6.a
- XF3: Frostwiderstand nach BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“
- XF4: Frost-Tausalz-Widerstand nach BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“

Für die Aussteuerung der Frisch- und Festbetoneigenschaften ist i. d. R. die Variation des Zement- und Zusatzstoffgehaltes auf jeweils – 5 kg/m^3 bis +10 kg/m^3 begrenzt.

Tabelle 13.2.6.a: Übersicht über die zusätzlichen Prüfungen und Maßnahmen nach BAW-Schreiben 1/2015 und Erlass des BMVI WS 12/2557.6/4

Welche Betone?	Prüfungen im Rahmen der erweiterten Eignungsprüfung	Prüfungen auf der Baustelle	Maßnahmen beim Betoneinbau
Alle Betone	▪ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mit dem Auswaschversuch ▪ Massige Bauteile: Entnahme von 2 Vertikal- und 3 Horizontalbohrkernen aus dem „2 m-Betonblock“ zur Beurteilung der Mischungsstabilität am Festbeton [1]	▪ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mit dem Auswaschversuch beim 1., 5. und jedem folgenden 20. Fahrzeug ▪ Mischungsstabilität am Festbeton (Vertikalbohrkerne, d ≥ 120 mm, l ≥ 1000mm, mindestens 1 Bohrkern je Betonsorte. Beurteilung der Gleichmäßigkeit des Betongefüges analog Bohrkernentnahme aus dem „2 m-Block“)	▪ Regelungen des DBV-Merkblattes „Betonierbarkeit von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton“ beachten ▪ Maßnahmen zur Beobachtung des Einbau- und Verdichtungsvorgangs treffen (z. B. verschließbare Schalungsöffnungen, Beleuchtungseinrichtungen
PCE-haltige Betone für massige Bauteile (kleinste Bauteilabmessung ≥ 0,8 m)	▪ Sättigungspunkt am Beton bei 20 °C sowie ggf. 10 °C ▪ Falls beim Betonieren Temperaturen von ≤ 15° C erwartet werden: Konsistenzverlauf über 90 Minuten bei einer Frischbetontemperatur von 10 °C. Prüfzeitpunkte des Ausbreitmaßes bei 10, 30, 45, 60 und 90 Minuten nach Wasserzugabe [2] ▪ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mittels Auswaschversuch ▪ Entnahme von 2 Vertikal- und 3 Horizontalbohrkernen aus dem „2m-Betonblock“ zur Beurteilung der Mischungsstabilität am Festbeton [1]		

[1] Bohrkerndurchmesser mindestens 120 mm, Länge der Vertikalbohrkerne 2,0 m, Länge der Horizontalbohrkerne ≥ 700 mm. Bohrkernentnahmestellen, Entnahmestellen siehe Bild 13.2.6.a

[2] Eine Nachverflüssigung darf bezogen auf das Ausbreitmaß nach 10 Minuten maximal 30 mm betragen

13.2.6.1 Prüfung der Sedimentationsstabilität des Frischbetons

Die Prüfung erfolgt in Anlehnung an den Auswaschversuch in der DAfStB-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“:

- Form: Zylinder d/h = 150/450 bis 500 mm, unterteilt in 3 Segmente
- Einbringen: Einlagiges Einfüllen unter 45° Neigung bis zu 450 mm Höhe, Verdichten 60 s auf dem Rütteltisch
- Lagerung: Erschütterungsfrei bis zum Erstarrungsbeginn
- Abschieben der Zylindersegmente mit einem Trennschieber
- Bestimmen der Masse der Teilproben m_{Beton} [g]

- Bestimmen des Grobkornanteils in jedem Segment über Auswaschen und Absieben auf dem 8 mm-Sieb (bei D_{max} 32 mm auf dem 11,2 mm-Sieb)
- Trocknen des Siebrückstands an der Luft (oberflächentrocken) und wiegen

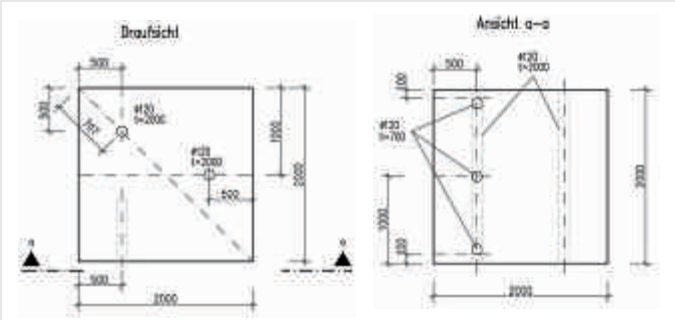
Prüfkriterium: Verringerung des Grobkornanteils (> 8 mm) im oberen Drittel des Zylinders bezogen auf den mittleren Grobkornanteil in der Gesamtprobe ≤ 20 M.-%.

13.2.6.2 Prüfung der Mischungsstabilität am Festbeton

Für die Prüfung ist wie folgt vorzugehen:

- Entnahme von Bohrkernen nach Tabelle 13.2.6.a und Abbildung 13.2.6.2.a
- Aufschneiden der Bohrkerne mittig in Achsrichtung zur Beurteilung der Gleichmäßigkeit des Gefüges
- In Zweifelsfällen: Bestimmung des Flächenanteils der groben Gesteinskörnung > 8 mm. Dazu Bohrkern in 3 gleiche Teilflächen unterteilen und den Flächenanteil der groben Gesteinskörnung > 8 mm in jedem Segment ermitteln. Prüfkriterium: Abweichung in den einzelnen Segmenten bezogen auf den Mittelwert aus den 3 Segmenten ≤ 20 %.

Abbildung 13.2.6.2.a: Bohrkernentnahmestellen für die Prüfung der Gleichmäßigkeit des Betongefüges am „2m-Block“



13.2.7 Nachbehandlung

Andere Nachbehandlungsverfahren als in DIN EN 13670/DIN 1045-3, Abschnitt 8.5 (NA 3), genannt sowie die Anwendung von Nachbehandlungsmitteln erfordern die Zustimmung des Auftraggebers.

Tabelle 13.2.7.a: Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton für Wasserbauwerke

Nachbehandlung	Mindestdauer in Tagen			
	Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm,2d}/f_{cm,xd}$ (x = 28, 56, 91 Tage) [1]			
	$r \geq 0{,}50$	$r \geq 0{,}30$	$r \geq 0{,}15$	$r < 0{,}15$
Gesamtnachbehandlung [2] [3] [4]	4	10	14	21
Belassen in der Schalung bei geschalten Betonoberflächen [3]	2	5	7	10

[1] Zwischenwerte für die NB-Zeit dürfen ermittelt werden.
[2] NB-Zeit bei Verarbeitbarkeitszeit > 5 h angemessen verlängern.
[3] NB-Zeit bei Temperaturen < 5 °C um die Zeitdauer verlängern, während der die Temperaturen < 5 °C lagen.
[4] Für XM2 und XM3 Mindestdauer der Gesamtnachbehandlung verdoppeln, maximal 30 Tage.

13.3 ZTV Beton-StB 07, TL Beton-StB 07, TP B-StB für den Neubau von Betonstraßen

Für den Neubau von Betonstraßen gelten [1]:

- ZTV Beton-StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton
- TL Beton-StB 07: Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton
- TP B-StB, 5/2017: Technische Prüfvorschriften für Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen [2]
- Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton

Für den ländlichen Wegebau mit Beton gelten die ZTV LW 16 und TL LW 16 sowie die TP B-StB.

[1] Zur Systematik der Regelwerke im Betonstraßenbau siehe Anhang A1.

[2] Loseblattsammlung, wird laufend fortgeschrieben. Ausgabedatum 5/2017 ist die aktuelle Fassung zum Redaktionsschluss der BTD. Ersetzt TP Beton-StB 10 „Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“ und TP BEB RH-StB 02 „Technische Prüfvorschriften für Grundierungen und Oberflächenbehandlungen aus Reaktionsharzen sowie für Oberflächenbeschichtungen und Betonersatzsysteme aus Reaktionsharzmörtel für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen - Betonbauweisen“. Die TP B-StB beziehen sich zurzeit in Teilen auf die beiden vorgenannten TP, da noch nicht alle Prüfvorschriften in den TP B-StB aufgenommen sind.

Die ZTV Beton-StB regeln den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und von Fahrbahndecken aus Beton. Sie beschreiben die Anforderungen an das Herstellen der Betondecke und der Fugenkerben, an Schutzmaßnahmen und Nachbehandlung, an Eigenschaften der Betondecke sowie an Art und Umfang der Überwachungs- und Kontrollprüfungen. Besondere Regelungen gelten für Decken aus Beton mit Fließmittel.

Die TL Beton-StB gelten für Baustoffe und Baustoffgemische zur Herstellung von Oberbauschichten im Straßen- und Wegebau sowie für andere Verkehrsfächen. Sie enthalten u. a. Anforderungen an den Beton, seine Ausgangsstoffe und an Nachbehandlungsmittel.

Die TP B-StB beschreiben die Prüfungen für Baustoffe und Baustoffgemische für den Neubau und die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen auf Grundlage geltender Normen sowie nicht genormter Prüfverfahren.

Die TP B-StB sind eine lose Blattsammlung und werden laufend fortgeschrieben.

Soweit die genannten Vorschriften keine anderslautenden Regelungen enthalten, gelten DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

Mit Einführung der Richtlinien für den Straßenoberbau (RStO 12) wurden „Belastungsklassen“ im Hinblick auf die zu erwartende Verkehrsbeanspruchung definiert und eingeführt Sie lösen die früher verwendeten „Bauklassen“ ab. Da in den zurzeit gültigen Fassungen der ZTV Beton-StB und TL Beton-StB noch die „Bauklassen“ gelten, sind in den folgenden Tabellen beide genannt.

Tabelle 13.3.a: Belastungsklassen nach RStO 12 und Vergleich mit den Bauklassen nach RStO 01

Belastungsklasse nach RStO 2012 (neu)	Dimensionierungsrelevante Beanspruchung B	TypischesBeispiel	Bauklasse nach RStO 2001 (alt)
Bk100	> 32	Autobahnen, Schnellstraßen	SV
Bk32	> 10 und ≤ 32	Industriestraßen	I
Bk10	> 3,2 und ≤ 10	Hauptgeschäftsstraßen	II
Bk3,2	> 1,8 und ≤ 3,2	Verbindungsstraßen	III
Bk1,8	> 1,0 und ≤ 1,8	Sammelstraßen, wenig befahrene Hauptgeschäftsstraßen	
Bk1,0	> 0,3 und ≤ 1,0	Wohnstraßen	IV
Bk0,3	≤ 0,3	Wohnwege	V und VI

13.3.1 Expositions- und Feuchtigkeitsklassen

Die Anforderungen an den Beton hinsichtlich Expositions- und Feuchtigkeitsklasse sind von der Belastungsklasse der Straße abhängig:

Tabelle 13.3.1.a: Zuordnung von Fahrbahndeckenbeton zu den Expositions- und Feuchtigkeitsklassen

Belastungsklasse nach RStO 2012 (neu)	Bauklasse nach RStO 2001 (alt)	Beton	Expositionsklasse	Feuchtigkeitsklasse
1,8 bis 100	SV, I, II, III	Oberbeton	XF4, XM2 [1)]	WS
		Unterbeton	XF4	WS
0,3 und 1,0	IV, V, VI	Oberbeton	XF4, XM1 [1)]	WA
		Unterbeton	XF4	WA

[1)] Bei Waschbeton entfällt die Obergrenze des Zementgehaltes nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

13.3.2 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Tabelle 13.3.2.a: Anforderungen an Zemente für Fahrbahndeckenbeton

Zementart nach DIN EN 197-1 oder DIN 1164-10	Allgemeine Anforderungen	Zusätzliche Anforderungen
CEM I 32,5 R	■ Na_2O-Äquivalent siehe Tabelle 13.3.2.b ■ Erstarrungsbeginn bei 20 °C ≥ 2 h [2)] ■ Bei zweischichtigem Deckbeton Ober- und Unterbeton mit gleicher Zementart und Festigkeitsklasse ■ Zementtemperatur bei der Verarbeitung ≤ 80 °C	■ Wasseranspruch ≤ 28 M.-% ■ 2-d-Druckfestigkeit ≤ 29,0 N/mm² ■ spez. Oberfläche ≤ 3500 cm²/g
CEM I 42,5 N		■ keine
CEM II/A-S [1)] CEM II/B-S [1)] CEM II/A-T [1)] CEM II/B-T [1)] CEM II/A-LL [1)] CEM III/A (≥ 42,5 N)		■ Für die Verwendung Zustimmung des Auftraggebers erforderlich
Frühhochfester Straßenbeton mit FM: CEM I mindestens 42,5 R		

[1)] Festigkeitsklasse 32,5 oder 42,5
[2)] Gilt nicht für Zemente für frühhochfesten Straßenbeton.

Tabelle 13.3.2.b: Anforderungen an den Alkaligehalt von Zementen für den Bau von Fahrbahndecken

Zement	Hüttensandgehalt [M.-%]	Na_2O-Äquivalent [M.-%]	Na_2O-Äquivalent des Zementes ohne Hüttensand bzw. Ölschiefer [M.-%]
CEM I CEM II/A-S, CEM II/A-T CEM II/A-LL	-	≤ 0,80	-
CEM II/B-T	-	-	≤ 0,90
CEM II/B-S	21 bis 29	-	≤ 0,90
	30 bis 35	-	≤ 1,00
CEM III/A	36 bis 50	-	≤ 1,05

Tabelle 13.3.2.c: Anforderungen an Gesteinskörnungen für Fahrbahndeckenbeton

Vorschrift	Beton	Zusätzliche Anforderungen
TL Beton-StB bzw. TL Gestein-StB	Oberbeton bzw. einschichtige Betonfahrbahndecke	■ hoher Frost-Tausalz-Widerstand: Masseverlust ≤ 8 M.-% [2) 3) 4)] ■ organische Verunreinigungen: – feine Gesteinskörnung: ≤ 0,25 M.-% – grobe Gesteinskörnung: ≤ 0,05 M.-% ■ Kornform: – Gesteinskörnungen > 8 mm: ≥ 50 M.-% gebrochenes Material der Kategorie $C_{90/1}$ [5)] – Gesamtkorngemisch: ≥ 35 M.-% gebrochenes Material der Kategorie $C_{90/1}$ [5)] – Korngemisch D ≤ 8 mm: Korngruppe d ≤ 2 mm der Kategorie $C_{100/0}$ oder $C_{90/1}$ und FI_{15} oder SI_{15} – Kornform der groben Gesteinskörnungen: FI_{20} oder SI_{20} [6)] ■ Polierwiderstand: [7)] – Belastungsklassen 0,3 und 1,0 (Bauklassen IV bis VI): $PSV_{angegeben}$ (42) – Belastungsklassen 1,8 bis 100 (Bauklassen SV, I bis III) und Oberbeton (D > 8): $PSV_{angegeben}$ (48) – Belastungsklassen 1,8 bis 100 (Bauklassen SV, I bis III) und Oberbeton (0/8): $PSV_{angegeben}$ (48), $PSV_{angegeben}$ (53) (Waschbeton) ■ Für Fahrbahndecken der Feuchtigkeitsklasse WA gelten die Regelungen der Alkali-Richtlinie des DAfStb ■ Für Fahrbahndecken der Feuchtigkeitsklasse WS ist nach ARS Nr. 04/2013 eine gutachterliche Beurteilung erforderlich [8)]
	Unterbeton [1)]	■ hoher Frost-Widerstand: F_2 ■ leichtgewichtige organische Verunreinigungen: siehe Oberbeton ■ Für Fahrbahndecken der Feuchtigkeitsklasse WA gelten die Regelungen der Alkali-Richtlinie des DAfStb ■ Für Fahrbahndecken der Feuchtigkeitsklasse WS ist nach ARS Nr. 04/2013 eine gutachterliche Beurteilung erforderlich [8)]

1) Gilt bei zweischichtiger Herstellung der Fahrbahndecke.
2) Prüfverfahren: Natriumchlorid-Verfahren nach DIN EN 1367-1, Anhang B.
3) Bei Frosteinwirkungszone III nach RStO 2012 gilt: Masseverlust ≤ 5 M.-%.
4) Grobe Gesteinskörnungen mit einem Masseverlust > 8 M.-% dürfen nur eingesetzt werden, wenn die Prüfung am Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Tabelle U.2, einen Masseverlust ≤ 500 g/m² ergibt.
5) Gilt nur für Belastungsklassen 1,8 bis 100 (Bauklassen SV, I bis III).
6) Bei zweischichtiger Herstellung mit einem Oberbeton (0/8): FI_{15} oder SI_{15} für Kornanteil > 2 mm und ≤ 8 mm.
7) Polierwiderstand nach TL Gestein-StB.
8) Die Alkaliunempfindlichkeit der Gesteinskörnungen d ≥ 2 mm ist durch eine WS-Grundprüfung mit Bestätigungsprüfung (Schnelltest), ein Gutachten für den Beton (AKR-Performance-Prüfung) oder anhand einer Gesteinsliste der BASt nachzuweisen. Anerkannte Gutachter wie z. B. Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) siehe www.bast.de.

Tabelle 13.3.2.d: Anforderungen an Zugabewasser, Betonzusatzstoffe und -zusatzmittel für Fahrbahndeckenbeton

Ausgangsstoff	Zusätzliche Anforderungen
Betonzusatzstoffe	■ keine Anrechnung auf den Zementgehalt und den w/z-Wert
Betonzusatzmittel	■ Wirksamkeitsprüfung erforderlich bei: LP + FM und LP + BV: Abstandsfaktor ≤ 0,2 mm, Mikro-Luftporengehalt ≥ 1,5 Vol.-%
	■ andere Zusatzmittel als LP dürfen nur nach Vereinbarung und Eignungsprüfung verwendet werden ■ innerhalb eines Betons je Wirkungsgruppe nur ein Zusatzmittel ■ innerhalb eines Betons je Wirkungsgruppe nur Zusatzmittel eines Herstellers
Zugabewasser	■ Restwasser darf nicht zugegeben werden

13.3.3 Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Tabelle 13.3.3.a: Anforderungen an die Zusammensetzung von Fahrbahndeckenbeton

Ausgangsstoff	Anforderung
Zementgehalt	■ Festlegung nach Erstprüfung ■ Belastungsklassen 1,8 bis 100 (Bauklasse SV, I bis III): ≥ 340 kg/m³ ■ ≥ 420 kg/m³ bei Waschbeton (Entfernung des Oberflächenmörtels)
w/z-Wert	■ Belastungsklassen 1,8 bis 100 (Bauklassen SV, I bis III): ≤ 0,45 ■ Belastungsklassen 0,3 und 1,0 (Bauklassen IV bis VI): ≤ 0,50
Feinkörnige Bestandteile ≤ 0,25 mm	■ allgemein: ≤ 450 kg/m³ ■ bei D_{max} 8 mm: ≤ 500 kg/m³ ■ für Beton mit Fließmittel: ≤ 500 kg/m³ [1)] ■ bei Waschbeton: > 500 kg/m³ zulässig
Gesteinskörnung	■ mindestens erforderliche Korngruppen: – Belastungsklassen 1,8 bis 100 (Bauklassen SV, I bis III): – D_{max} > 8 mm: 0/2, 2/8, > 8 oder 0/4, 4/8, > 8 – D_{max} = 8 mm: 0/2, 0/4, ≤ 8 – Belastungsklassen 0,3 und 1,0 (Bauklassen IV bis VI): 0/4, > 4 ■ Anteil feiner Gesteinskörnungen mit D_{max} ≤ 2 mm: [2)] – Siebdurchgang durch 1 mm Sieb: ≤ 27 M.-% – Siebdurchgang durch 2 mm Sieb: ≤ 30 M.-% [3)]
Betonzusatzmittel	■ Frühhochfester Beton mit Fließmitttel: – keine Erhärtungsverzögerung durch das Fließmittel – bei Belastungsklassen 0,3 und 1,0 (Bauklassen IV bis VI): BV anstelle von FM zulässig

[1)] Bei frühhochfestem Beton mit Fließmittel, sofern erhöhter Zementgehalt erforderlich ist.
[2)] Gilt nur für Belastungsklassen 1,8 bis 100 (Bauklassen SV, I bis III) bei einschichtiger und bei zweischichtiger Bauweise für den Oberbeton.
[3)] Bei Beton mit D_{max} = 8 mm: ≤ 35 M.-%.

13.3.4 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton

Tabelle 13.3.4.a: Luftgehalt des Frischbetons

Beton	Mindestluftgehalt des Frischbetons [Vol.-%] [1]	
	im Tagesmittel	Einzelwerte
	ohne BV oder FM	
8 mm	5,5	5,0
16 mm	4,5	4,0
32 bzw. 22 mm	4,0	3,5
	mit BV oder FM [1) 2) 3)]	
8 mm	6,5	6,0
16 mm	5,5	5,0
32 bzw. 22 mm	5,0	4,5

[1)] Werden bei der Erstprüfung die Luftporenkennwerte bestimmt und ein Abstandsfaktor L ≤ 0,20 mm sowie ein Mikroluftporengehalt A_{300} ≥ 1,8 Vol.-% erzielt, ist ein Mindestluftgehalt wie für Beton ohne BV oder FM ausreichend.

[2)] Bei Konsistenzklasse F6 sind die Luftporenkennwerte immer nachzuweisen.

[3)] Bei Waschbeton mit D_{max} 8 mm der Konsistenzklasse C1 mit FM oder BV: Mindestluftgehalt 4,0 Vol.-% (Einzelwert) bzw. 4,5 Vol.-% (Tagesmittel) wenn Anforderungen nach [1)] erfüllt.

Tabelle 13.3.4.b: Anforderungen an Luftporenkennwerte im Festbeton

Art der Prüfung	Mikro-Luftporengehalt A_{300} [Vol.-%]	Abstandsfaktor $\bar{L}$ [mm]
Eigenüberwachungsprüfung	≥ 1,5	≤ 0,24

Tabelle 13.3.4.c: Anforderungen an die Festigkeiten von Fahrbahndeckenbeton

Belastungsklasse nach RStO 2012 (neu)	Bauklasse nach RStO 2001 (alt)	Druckfestigkeitsklasse	Biegezugfestigkeitsklasse
1,8 bis 100	SV, I bis III	C30/37	F 4,5
0,3 und 1,0	IV bis VI		F 3,5

13.3.5 Schutz und Nachbehandlung

- Beton ist beim Einbau und in den ersten 2 Stunden nach Fertigstellung vor Niederschlägen zu schützen.
- Bei Lufttemperaturen > 25 °C ist die Decke unmittelbar nach dem Schneiden der Kerben mindestens dreimal im Abstand von zwei bis drei Stunden flächendeckend anzunässen.

- Nassnachbehandlungsdauer ≥ 3 Tage.
- Bei Verwendung von Nachbehandlungsmitteln ist zu beachten:
  - Sperrkoeffizient S entsprechend den TL NBM-StB "Technische Lieferbedingungen für flüssige Beton-Nachbehandlungsmittel" erforderlich.
  - Bei starker Sonneneinstrahlung und sommerlichen Temperaturen ist ein Nachbehandlungsmittel mit erhöhtem Hellbezugswert nach TL NBM-StB zweckmäßig.
  - Bei Lufttemperaturen > 30 °C, starker Sonneneinstrahlung, starkem Wind oder relativer Luftfeuchte < 50 % ist zusätzlich nach Abtrocknen des Nachbehandlungsmittels nass nachzubehandeln.

13.4 ZTV BEB-StB 15, TL BEB-StB 15 für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen aus Beton

Für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen aus Beton gelten zusätzlich zu den Regelwerken für den Neubau von Verkehrsflächen aus Beton [1] (ZTV Beton-StB, TL Beton-StB, TP B-StB [2]):

- ZTV BEB-StB 15: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen
- TL BEB-StB 15: Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen

[1] Zur Systematik der Regelwerke im Betonstraßenbau siehe Anhang A1.

[2] Loseblattsammlung, wird laufend fortgeschrieben. Ausgabedatum 5/2017 ist die aktuelle Fassung zum Redaktionsschluss der BTD. Ersetzt TP Beton-StB 10 „Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“ und TP BEB RH-StB 02 „Technische Prüfvorschriften für Grundierungen und Oberflächenbehandlungen aus Reaktionsharzen sowie für Oberflächenbeschichtungen und Betonersatzsysteme aus Reaktionsharzmörtel für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen - Betonbauweisen“. Die TP B-StB beziehen sich zurzeit in Teilen auf die beiden vorgenannten TP, da noch nicht alle Prüfvorschriften in den TP B-StB aufgenommen sind.

In den ZTV BEB-StB sind Maßnahmen der Baulichen Erhaltung von bestehenden Verkehrsflächen aus Beton, d. h. Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung von Betonverkehrsflächen in Abhängigkeit von Zustand und Erhaltungsziel beschrieben.

- **Instandhaltung:** Bauliche Erhaltungsmaßnahmen kleineren Umfanges bei örtlich begrenzten Schäden, die mit geringem Aufwand von Hand oder maschinell ausgeführt werden, wie z. B. Ausbessern von Fugen, Kantenschäden und Eckausbrüchen, Schließen von Rissen.
- **Instandsetzung:** Bauliche Maßnahmen zur Substanzerhaltung oder Verbesserung der Oberflächeneigenschaften von Verkehrsflächen, wie z. B. Ersatz von Fugenfüllungen, Platten und Plattenteilen, streifenweiser Ersatz von Betonfahrbahnen, Oberflächenbehandlung und –beschichtung mit Reaktionsharz bzw. Reaktionsharzmörtel.
- **Erneuerung:** Bauliche Maßnahmen zur vollständigen Wiederherstellung der Oberflächeneigenschaften und Substanz von Verkehrsflächen oder Teilen davon, wie z. B. Aufbringen einer neuen Fahrbahndecke oder Ersatz einzelner Schichten.

Die TL BEB-StB gelten – soweit die Anforderungen nicht bereits z. B. in den TL Beton-StB geregelt sind – für Baustoffe und Baustoffsysteme für die Bauliche Erhaltung von bestehenden Verkehrsflächen aus Beton. Sie enthalten u. a. Anforderungen an Betone wie Straßenbeton, Frühfester Beton und Schnellbeton sowie Erstprüfungen und die Werkseigene Produktionskontrolle (WPK).

Für die Instandsetzung (Ersatz) von Platten oder Plattenteilen betonbefestigter Verkehrsflächen eignen sich – je nach Anforderung:

- Frühfester Straßenbeton
- Schnellbeton

Frühfester Straßenbeton

Frühfester Straßenbeton erhärtet in der Anfangsphase schnell und erreicht die für die Verkehrsfreigabe geforderte Festigkeit schneller als ein Straßenbeton, jedoch langsamer als ein Schnellbeton. Ergänzend zur TL Beton-StB gelten Anforderungen der TL BEB-StB (siehe Tabelle 13.4.1.a).

Frühfester Straßenbeton wird vorwiegend beim Ersatz von Platten und Plattenteilen und dem Ersatz von Fahrbahnstreifen verwendet. Die Ausführung erfolgt entsprechend ZTV Beton-StB.

Schnellbeton

Schnellbeton weist eine sehr schnelle Festigkeitsentwicklung in der Anfangsphase auf. Die Verkehrsfreigabe kann günstigenfalls bereits nach 3 bis 5 Stunden erfolgen.

Schnellbeton wird in 3 Typen unterschieden:

- Typ A: Transportbeton (D_{max} 22 mm),
- Typ B: werksmäßig zementgebundener Trockenmörtel (Basismischung D_{max} 4 mm und bauseitig zugemischte grobe Gesteinskörnungen D_{max} 22 mm) und
- Typ C: werksmäßig hergestellter zementgebundener Trockenbeton (D_{max} 22mm).

Für Schnellbeton gelten die ZTV BEB-StB und TL BEB-StB mit Bezug auf die TL Beton StB.

Schnellbeton wird zur Instandsetzung von Verkehrsflächen eingesetzt, die sehr schnell wieder für den Verkehr freigegeben werden müssen wie z. B.:

- Straßen aller Art, insbesondere Autobahnen
- Flugbetriebsflächen
- Innerstädtische Verkehrsflächen
- Tankstellen, Rastplätze, Logistikflächen, Containerterminals

13.4.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe für Frühfesten Straßenbeton und Schnellbeton nach TL BEB-StB

Grundsätzlich gelten die Anforderungen aus den TL Beton-StB (siehe BTD-Kapitel 13.3.2) mit zusätzlichen bzw. abweichenden Festlegungen in den TL BEB-StB (siehe Tabelle 13.4.1.a).

Tabelle 13.4.1.a: Anforderungen an Ausgangsstoffe und Baustoffgemische für Frühfesten Beton und Schnellbeton Typ A nach TL BEB-StB

	Frühfester Straßenbeton	Schnellbeton Typ A
Zement	Tabelle 13.3.2.a und b	DIN 197-1, DIN 1164-11 oder Spezialzement mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung; Alkaligehalt ≤ 0,80 M.-% (z. B. ChronoCem IR)
Gesteinskörnungen	Tabelle 13.3.2.c, für Fahrbahndecken Feuchtigkeitsklasse WS einschließlich Vorgaben bezüglich AKR nach ARS Nr. 04/2013	
Zugabewasser	Tabelle 13.3.2.d	
Betonzusatzmittel		
Betonzusatzstoffe		

13.4.2 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton für Frühfesten Straßenbeton und Schnellbeton Typ A nach TL BEB-StB

Grundsätzlich gelten die Anforderungen aus den TL Beton-StB (siehe BTD-Kapitel 13.3.2) mit zusätzlichen bzw. abweichenden Festlegungen in den TL BEB-StB (siehe Tabelle 13.4.2.a).

Die Erstprüfung [1)] für Schnellbeton Typ A besteht aus einer Systemprüfung des Materiallieferanten mit Referenzgesteinskörnungen sowie einer Bestätigungsprüfung mit den örtlichen Gesteinskörnungen durch den Betonhersteller (Anforderungen siehe Tabelle 13.4.2.b).

Die Bestätigungsprüfung ist durch eine anerkannte Prüfstelle nach RAP Stra oder eine ständige Betonprüfstelle nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 unter Verwendung örtlicher Gesteinskörnung zu überprüfen.

[1)] Die Erstprüfung ist Teil des Eignungsnachweises nach ZTV BEB-StB, siehe BTD-Kapitel 13.4.3.

Tabelle 13.4.2.a: Grundsätzliche Anforderungen an die Frisch- und Festbetoneigenschaften für Frühfesten Straßenbeton und Schnellbeton Typ A nach TL BEB-StB

	Frühfester Straßenbeton	Schnellbeton Typ A
Einbaukonsistenz	nach Einbauverfahren, Temperatur, Neigung der Einbaufläche	
Frischbetontemperatur	≥ 5 °C ≤ 30 °C	≥ 10 °C ≤ 30 °C
Verarbeitbarkeitszeit	≥ 60 Minuten	≥ 30 Minuten
Frost-Tausalz-Widerstand	hoher Frost-Tausalz-Widerstand [1)]	hoher Frost-Tausalz-Widerstand [1)]; Abwitterung nach 28 d ≤ 1500 g/m²
Druckfestigkeit $f_{c,cube}$	≥ 20 MPa in einer Zeit von mehr als 5 h und höchstens 24 h	-
Druckfestigkeit bei Verkehrsfreigabe	≥ 26 MPa	≥ 20 MPa bei Frost: ≥ 26 MPa
Betonherstellung	Mischanlagen	Mischanlagen bzw. mobile Spezial-Mischfahrzeuge

[1)] Herstellung ohne LP möglich, wenn in der Erstprüfung der Frost-Tausalz-Widerstand nach TP B-StB, Teil 3.1.07 (CDF-Prüfverfahren) nachgewiesen wurde.

Tabelle 13.4.2.b: Anforderungen an die Frisch- und Festbetoneigenschaften für Frühfesten Straßenbeton und Schnellbeton Typ A nach TL BEB-StB in der Erstprüfung

	TP B-StB Abschnitt		Frühfester Straßenbeton	Schnellbeton Typ A
Prüfungen am Frischbeton	2.1.07	Rohdichte	ist anzugeben	
	2.1.06	w/z-Wert		
	2.1.08 2.1.09	Konsistenz		
	2.1.10	Luftgehalt		
	2.1.11	Luft- und Betontemperatur		
	2.1.12	maximale Verarbeitbarkeitszeit bei verschiedenen Beton- und Lufttemperaturen	-	ist anzugeben
Prüfungen am Festbeton	3.1.01	Rohdichte	ist anzugeben	
	3.1.03	Druckfestigkeit $f_{c,cube}$	Nachweis des Zeitpunktes, an dem $f_{ci,cube} \geq 20$ MPa [1)]	– nach 5 h: $f_{cm,cube} \geq 20$ MPa – nach 12 h: ist anzugeben – nach 28 d: $f_{ck,cube} \geq 37$ MPa
	3.1.04	Biegezugfestigkeit $f_{ct,bz}$	ist anzugeben	– nach 5 h: $f_{ctm,bz} \geq 2{,}5$ MPA – nach 12 h: $f_{ctm,bz} \geq 4{,}5$ MPA
	3.1.07	Frost-Tausalz-Widerstand	bei Beton ohne Luftporen: (CDF-Verfahren)	nach 28 Frost-Tau-Wechseln (CDF-Verfahren): ≤ 1500 g/m^2
	3.1.09	Kalibrierung Rückprallhammer Typ N an Würfeln für den Druckfestigkeitsbereich 10 bis 40 MPa	-	ist anzugeben
	3.1.10	Waschbeton: Texturtiefe (Wirksamkeit des Oberflächenverzögerers)	Bestimmung der mittleren Texturtiefe [2)] an einer Musterplatte ≥ 900 cm^2	nur bei D_{max} 8 mm: Texturtiefe zwischen 0,6 und 1,1 mm [3)]

[1)] Nachweis bei 20 °C Frischbetontemperatur.
[2)] Bestimmung nach DIN EN 13036-1 mit Glassand.

13.4.3 Eignungsnachweise für Frühfesten Straßenbeton und Schnellbeton nach ZTV BEB-StB (Ersatz von Platten oder Plattenteilen)

Der Auftragnehmer hat die Eignung der vorgesehenen Baustoffe, Baustoffgemische und Einbaugemische vor der Bauausführung durch Vorlage der Ergebnisse der Erstprüfung dem Auftraggeber nachzuweisen. Auf deren Basis werden die zur Verwendung kommenden Ausgangsstoffe und Rezepturen festgelegt. Diese Angaben sind maßgebend für die Ausführung und Abnahme der Bauleistung. Bei Änderung der Ausgangsstoffe, der Betonzusammensetzung oder der Einbaubedingungen muss ein neuer Eignungsnachweis erbracht werden.

Eignungsnachweis für Frühfesten Straßenbeton:

- Erstprüfung: Angaben zur Zusammensetzung und zu den im Rahmen der Erstprüfung nach **TL Beton-StB** durchgeführten Prüfungen (siehe Tabellen 13.4.2.b und 13.4.3.a)
- Erklärung über die Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck

Eignungsnachweis für Schnellbeton Typ A:

- Erstprüfung: Angaben zur Zusammensetzung und zu den im Rahmen der Erstprüfung nach **TL BEB-StB** durchgeführten Prüfungen (siehe Tabellen 13.4.2.b und 13.4.3.a)
- Erklärung über die Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck

Tabelle 13.4.3.a: Angaben zur Zusammensetzung und Erstprüfung für Frühfesten Straßenbeton und Schnellbeton Typ A für den Eignungsnachweis nach ZTV BEB-StB

		Frühfester Straßenbeton	Schnellbeton Typ A
Angaben zum Frischbeton	Beton	Art und Herkunft des Betons	
	Gesteinskörnungen	Art, Gewinnungsort und Hersteller der GK	
	Zement	Art und Hersteller des Zements	
	Zusatzmittel	Art und Hersteller der Zusatzmittel	
Angaben zum Festbeton	Rohdichte	Dichte am Festbeton	
	Druckfestigkeit $f_{c,cube}$	Zeit bis die zur Verkehrsfreigabe geforderte Druckfestigkeit des Betons erreicht wird	
		Druckfestigkeit nach 2 d und 28 d	Druckfestigkeit nach 5 h, 12 h und 28 d
		–	Kalibrierkurve für Rückprallhammer Typ N
	Biegezugfestigkeit $f_{ct,bz}$	Biegezugfestigkeit nach 28 d	Biegezugfestigkeit nach 5 h und 28 d
	Frost-Tausalz-Widerstand	LP-Gehalt oder Frost-Tausalz-Widerstand	Frost-Tausalz-Widerstand
		gegebenenfalls Luftporenkennwerte am Festbeton	–
	Waschbeton	gegebenenfalls Wirksamkeit des verwendeten Oberflächenverzögerers	

14. Ökobilanzielle Kennwerte für Zement und Beton

Als Datengrundlage für die ökologische Gebäudebewertung nach DIN EN 15978 dienen Umwelt-Produktdeklarationen (EPD – Environmental Product Declaration) für die verwendeten Baustoffe. In einer EPD weisen Produkthersteller ökobilanzbasierte Indikatoren aus wie den Ressourcen- und Energieverbrauch sowie den Beitrag zum Treibhauseffekt, Zerstörung der Ozonschicht, Versauerung, Überdüngung und Smogbildung. Außerdem werden Angaben zu technischen Eigenschaften gemacht, die für die Einschätzung der Performance des Bauprodukts beim Einsatz in einem Gebäude benötigt werden, wie z. B. seine Lebensdauer.

Umwelt-Produktdeklarationen werden für die Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden, z. B. nach dem System der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) herangezogen (www.dgnb.de).

Die Umwelt-Produktdeklarationen werden nach DIN EN 15804 erstellt und basieren auf ISO-Normen.

Umweltauswirkungen

Die Effekte der Emissionen aus Herstellung, Verwendung und Entsorgung von Bauprodukten werden über sogenannte Umweltwirkungen quantifiziert. Emissionen haben unterschiedlich starke Umweltwirkungen. Die Emission von Methan wirkt sich z. B. 23-mal stärker auf den Treibhauseffekt aus als die Emission von CO_2. Die Referenzeinheit zur Umrechnung des Treibhauseffektes (GWP – Global Warming Potential) ist das CO_2-Äquivalent. Damit hat 1 kg Methan ein Treibhauspotenzial von 23 kg CO_2- Äquivalent. Bestimmte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) haben die bis zu 14000-fache Wirkung von CO_2.

- Globales Erwärmungspotenzial (GWP) – Zunahme der Temperatur in der Troposphäre
- Ozonabbaupotenzial (ODP) – Reduzierung der Ozonkonzentration in der Stratosphäre (Ozonloch)
- Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP) – Verringerung des pH-Wertes des Niederschlags (Saurer Regen)
- Eutrophierungspotenzial (EP) – übermäßiger Eintrag von Nährstoffen in Boden und Wasser (Überdüngung)
- Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP) – Bildung von Ozon in bodennahen Schichten durch Photochemische Oxidantienbildung (Sommersmog)
- Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP) – Erschöpfung natürlicher Ressourcen (fossiler und nichtfossiler Brennstoffe) in Relation zum Element Antimon

Tabelle 14.a: Ökobilanzielle Kennwerte der Herstellung eines in Deutschland hergestellten, durchschnittlich zusammengesetzten Zementes sowie Betonen verschiedener Festigkeitsklassen [1)]

Ökobilanz	
Umweltauswirkungen	**Einheit**
Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	[kg CO_2-Äq.]
Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	[kg CFC11-Äq.]
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	[kg SO_2-Äq.]
Eutrophierungspotenzial (EP)	[kg $(PO_4)^3$-Äq.]
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	[kg Ethen Äq.]
Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADP_{el})	[kg Sb Äq.]
Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Brennstoffe (ADP_{foss})	[MJ]
Ressourceneinsatz	
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger	[MJ]
Erneuerbare Primärenergie zur stoffl. Nutzung	[MJ]
Total erneuerbare Primärenergie (PE_{ern})	[MJ]
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger	[MJ]
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung	[MJ]
Total nicht-erneuerbare Primärenergie (PE_{nern})	[MJ]
Einsatz von Sekundärstoffen	[kg]
Erneuerbare Sekundärbrennstoffe	[MJ]
Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe	[MJ]
Einsatz von Süßwasserressourcen	[m^3]
Abfallkategorien	
Gefährlicher Abfall zur Deponie	[kg]
Entsorgter nicht gefährlicher Abfall	[kg]
Entsorgter radioaktiver Abfall	[kg]

1) Quellen: Verein Deutscher Zementwerke, 2017 und InformationsZentrum Beton, 2013 (siehe auch „Erläuterungen zu den Umweltproduktdeklarationen für Beton“, www.beton.org).
2) A1: Rohstoffversorgung, A2: Transport, A3: Herstellung.
3) Enthält Anteile CO_2-Äquivalent aus der Verbrennung von Abfällen bei der Herstellung von Zementklinker.

	Zement	C25/30	C30/37	C35/45
	1 t	1 m^3		
	Produktion (A1 - A3) [2]			
	587	211,1 [3]	231,9 [3]	265,1 [3]
	2,03E-7	6,94E-07	7,35E-07	7,98E-07
	0,75	0,297	0,323	0,364
	0,19	0,0472	0,0513	0,0572
	0,12	0,0361	0,0393	0,0442
	4,16E-3	3,78E-04	4,18E-04	4,68E-04
	1830,0	779,4	845,2	958,1
	360,0	77,1	82,7	92,2
	0,0	0	0	0
	360,0	77,1	82,7	92,2
	2050,0	909	984	1116
	0,00	0	0	0
	2050,0	909	984	1116
	16,5	73,1	116,2	90,9
	669,0	164,6	182	209,4
	1274,0	320,9	354,8	408,2
	2,00	0,228	0,227	0,229
	6,00E-4	0,182	0,201	0,233
	2,62	0,001	0,001	0,001
	0,09	0,052	0,055	0,062

15 Estrich

Estrich ist eine Schicht aus Estrichmörtel, die auf der Baustelle direkt auf dem Untergrund oder auf einer zwischenliegenden Trenn- oder Dämmschicht verlegt wird. Ein direkt auf dem Untergrund verlegter Estrich kann mit oder ohne Verbund ausgeführt werden. Der Estrich erfüllt eine oder mehrere der nachstehenden Funktionen:

- Erreichen einer vorgegebenen Höhenlage
- Aufnahme des Bodenbelags
- unmittelbare Nutzung

Die Normen für Estrich sind der nachfolgenden Tabelle 15.a zu entnehmen. Die europäischen Normen regeln die Anforderungen an das Produkt, die nationale Normenreihe DIN 18560 regelt die Anwendung.

Tabelle 15.a: Übersicht der geltenden Normen für Estrich

Norm	Inhalt
DIN EN 13318	Estrichmörtel und Estriche – Begriffe
DIN EN 13813	Estrichmörtel und Estrichmassen – Eigenschaften und Anforderungen
DIN EN 13892	Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen, Teil 1 bis 8
DIN 18560	Estriche im Bauwesen, deutsche Anwendungsregeln Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Prüfung und Ausführung Teil 2: Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten Teil 3: Verbundestriche Teil 4: Estriche auf Trennschicht Teil 7: Hochbeanspruchte Estriche (Industrieestriche)
DIN 18353	ATV Estricharbeiten (VOB/C, technische Vertragsbedingungen)

15.1 Estricharten

- Zementestrich: CT (Cementitious screed)
  (auch als Zementfließestrich) [1)]
- Calciumsulfatestrich: CA (Calcium sulfate screed),
  Calciumsulfat-Fließestrich: CAF (Calcium sulfate flow screed)
- Magnesiaestrich: MA (Magnesite screed)
- Gussasphaltestrich: AS (Mastic asphalt screed)
- Kunstharzestrich: SR (Synthetic resin screed)

[1)] nach Merkblatt des Industrieverbandes WerkMörtel e.V. (IVM) „Zementfließestrich – Hinweise für die Planung und Ausführung“. Bei Verminderung der Nenndicke für schwimmende Estriche nach DIN 18560-2 auch als Sonderkonstruktion „Zementfließestrich CTF“ (Cementitious flow screed).

Estriche werden ausgeführt als:

- Estrich auf Trennschicht: T (Trennschicht)
- Estrich auf Dämmschicht: S (Schwimmend)
- Verbundestrich: V (Verbund)

15.2 Klassifizierung

Zement- und Calciumsulfatestriche werden anhand der in Tabelle 15.2.a dargestellten Kriterien klassifiziert.

Tabelle 15.2.a: Estrichklassen für Zement- und Calciumsulfatestriche

Eigenschaft	Klassen	Angabe
Druckfestigkeit (**C**ompressive strength)	C5, C7, C12, C16, C20, C25, C30, C35, C40, C50, C60, C70, C80	normativ
Biegezugfestigkeit (**F**lexural strength)	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F10, F15, F20, F30, F40, F50	normativ
Verschleißwiderstand nach Böhme [1] (**A**brasion)	A22, A15, A12, A9, A6, A3, A1,5	normativ [2]
Oberfächenhärte [3] (**S**urface **H**ardness)	SH30, SH40, SH50, SH70, SH100, SH150, SH200	optional
Widerstand gegen Rollbeanspruchung [4] (**R**olling **W**heel **F**loor **C**overing)	RWFC150, RWFC250, RWFC350, RWFC450, RWFC550	optional
Biegezugelastizitätsmodul [5] (**E**lastizität)	E1, E2, E5, E10, E20, E25, E30, E35, ...	optional
Haftzugfestigkeit [4] (**B**ond)	B0,2, B0,5, B1,0, B1,5, B2,0	optional

[1] Alternativ: Angabe des Verschleißwiderstandes nach BCA (Abrasion Resistance: AR6 …AR0,5) oder des Verschleißwiderstandes gegen Rollbeanspruchung (Rolling Wheel Abrasion: RWA300 …RWA1) möglich.
[2] Gilt nur für Zementestriche, die als Nutzfläche verwendet werden.
[3] Gilt für Magnesiaestriche und darf bei sonstigen Estrichen mit $D_{max} < 4$ mm angegeben werden.
[4] Darf für Estriche angegeben werden, die mit einem Bodenbelag versehen werden.
[5] Keine verpflichtende Prüfung; darf angegeben werden.

Zement- und Calciumsulfatestriche sind mindestens durch die Angabe von Druckfestigkeitsklasse und Biegezugfestigkeitsklasse entsprechend der in den Tabellen 15.2.b und 15.2.c angegebenen Festigkeitsklassen festzulegen. Bei Anwendung als Nutzschicht muss zusätzlich die Verschleißfestigkeitsklasse z. B. nach Böhme (siehe Tabelle 15.2.d) festgelegt werden. Die weiteren Eigenschaften sind optionale Festlegungen.

Tabelle 15.2.b: Druckfestigkeitsklassen für die Einteilung von Estrichen

Klasse	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C70	C80
Druckfestigkeit [N/mm²]	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80

Tabelle 15.2.c: Biegezugfestigkeitsklassen für die Einteilung von Estrichen

Klasse	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Biegezugfestigkeit [N/mm²]	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

Tabelle 15.2.d: Verschleißwiderstandsklassen nach Böhme für Zement- und sonstige Estrichmörtel

Klasse	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Abrieb [1] [cm³/50 cm²]	22	15	12	9	6	3	1,5

[1] Ziffern in den Klassen geben das Abriebvolumen in der Schleifscheibenprüfung nach Böhme an.

Normbezeichnung

Zement- oder Calciumsulfatestriche nach DIN 18560 werden gekennzeichnet durch die Angabe der Kurzzeichen für

- den Estrichmörtel (CT, CA, CAF),
- die Druckfestigkeitsklasse (C),
- die Biegezugfestigkeitsklasse (F),
- die Estrichausführungsart (T, S, V) einschließlich der Estrichdicke in mm.

Bei Bedarf sind ihre Bezeichnungen durch weitere Klassen wie z. B. bei Zementestrich mit direkter Nutzung die Verschleißwiderstandsklasse (A) zu ergänzen (siehe auch Tabelle 15.2.a).

- Zementestrich der Druckfestigkeitsklasse C25, der Biegezugfestigkeitsklasse F4, als Estrich auf Trennschicht (T), Nenndicke 45 mm:

  Estrich DIN 18560 – CT – C25 – F4 – T 45

- Zementestrich der Druckfestigkeitsklasse C30, der Biegezugfestigkeitsklasse F5, der Verschleißwiderstandsklasse A15 als Verbundestrich (V), Nenndicke 25 mm:

  Estrich DIN 18560 – CT – C30 – F5 – A15 – V 25

- Calciumsulfatestrich der Biegezugfestigkeitsklasse F4, schwimmend (S), Nenndicke 40 mm:

  Estrich DIN 18560 – CA – F4 – S 40

15.3 Mindestanforderungen in Abhängigkeit von der Ausführungsart

Tabelle 15.3.a: Mindestanforderungen an Estriche auf Trennschicht und Verbundestriche

Ausführungsart		Zementestrich Calciumsulfatestrich / Calciumsulfat-Fließestrich	
		Festigkeitsklasse	Nenndicke [mm]
Verbundestrich	mit Belag	≥ C20/F3	≤ 50 [1]
	ohne Belag	≥ C25/F4	
Estrich auf Trennschicht	mit Belag	≥ F4	≥ 35 [2] [3] [5]
	ohne Belag	≥ F4 [4]	

1) Gilt für einschichtigen Estrich.
2) Mindestnenndicke für Calciumsulfat-Fließestrich: 30 mm.
3) Mindestnenndicke 30 mm bei Biegezugfestigkeitsklasse > F5 (Zementestrich) bzw. > F7 (Calciumsulfatestrich) möglich.
4) Nach DIN 18560-4 für Calciumsulfatestrich und Calciumsulfat-Fließestrich ≥ F5.
5) Unter Stein- und keramischen Belägen Nenndicke ≥ 40 mm bei Calciumsulfat-Fließ-Estrich und ≥ 45 mm bei allen anderen Estrichen.

Tabelle 15.3.b: Mindestanforderungen an Estriche und Heizestriche auf Dämmschicht (schwimmender Estrich)

Estrichart	Biegezug-festigkeits-klasse	Nenndicke [1] [mm] bei lotrechten Flächen-Nutzlasten von ...			
		≤ 2 [2] [3] [kN/m²]	≤ 3 [2] [4] [kN/m²]	≤ 4 [5] [6] [kN/m²]	≤ 5 [5] [7] [kN/m²]
Zementestrich	≥ F4	≥ 45	≥ 65	≥ 70	≥ 75
	≥ F5	≥ 40	≥ 55	≥ 60	≥ 65
Calciumsulfat-estrich	≥ F4	≥ 45	≥ 65	≥ 70	≥ 75
	≥ F5	≥ 40	≥ 55	≥ 60	≥ 65
	≥ F7	≥ 35	≥ 50	≥ 55	≥ 60
Calciumsulfat-Fließestrich	≥ F4	≥ 35	≥ 50	≥ 60	≥ 65
	≥ F5	≥ 35	≥ 45	≥ 50	≥ 55
	≥ F7	≥ 35	≥ 40	≥ 45	≥ 50

Fußnoten siehe nächste Seite ▶

1) Bei Heizestrichen der Bauart A (Heizelement im Estrich) ist die Mindestnenndicke um den Außendurchmesser des Heizrohres zu erhöhen.
2) Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht ≤ 5 mm.
3) Bei höherer Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht (≤ 10 mm) muss die Nenndicke um 5 mm erhöht werden.
4) Einzellasten ≤ 2 kN.
5) Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht ≤ 3 mm.
6) Einzellasten ≤ 3 kN.
7) Einzellasten ≤ 4 kN.

15.4 Konformitätsbewertung

Die Konformitätsbewertung umfasst:

- Erstprüfung
- werkseigene Produktionskontrolle (für Werktrockenmörtel und Werkfrischmörtel)

Die Erstprüfung ist bei Produktionsbeginn bzw. vor der ersten Herstellung eines neuen Produktes durchzuführen. Bei Änderung der Ausgangsstoffe bzw. des Herstellverfahrens während der Produktion ist erneut eine Erstprüfung durchzuführen. Es sind mindestens die Druck- und Biegezugfestigkeit sowie bei Zementestrich mit direkter Nutzung der Verschleißwiderstand nach Böhme nachzuweisen.

Bei Baustellenestrichen umfasst die Produktionskontrolle hauptsächlich die Prüfung der Lieferscheine und Sichtprüfung der Ausgangsstoffe. Der Herstellvorgang selbst ist in regelmäßigen Abständen zu überwachen.

15.5 Ausführung

Zementestrich

- Mindesttemperatur des Estrichs beim Einbau: 5 °C, danach mindestens 3 Tage 5 °C nicht unterschreiten
- Nachbehandlung:
  - Schutz vor Austrocknung: mindestens 3 Tage, bei niedrigen Temperaturen oder langsam erhärtenden Zementen entsprechend länger
  - Schutz vor Wärme, Zugluft und Schlagregen: mindestens weitere 7 Tage
- Begehbarkeit: frühestens nach 3 Tagen
- Belastbarkeit: frühestens nach 7 Tagen
- Belegreife: Restfeuchte ≤ 2 CM-% [1] (beheizt ≤ 1,8 CM-%); Prüfung der Belegreife direkt vor der Verlegung durch den Oberbodenbeleger.

Calciumsulfatestrich

- Mindesttemperatur des Estrichs beim Einbau: 5 °C, danach mindestens 2 Tage bei mindestens 5 °C halten
- Nachbehandlung:
  - ungehindertes Austrocknen erforderlich
  - mindestens 2 Tage vor Wärme, Zugluft und Schlagregen schützen
- Begehbarkeit: frühestens nach 3 Tagen
- Belastbarkeit: frühestens nach 5 Tagen
- Belegreife: Restfeuchte ≤ 0,5 CM-% [1] (beheizt ≤ 0,5 CM-%); Prüfung der Belegreife direkt vor der Verlegung durch den Oberbodenbeleger.

[1] Messung der Belegreife über die Calciumcarbid-Methode (CM)

16 Mauermörtel

16.1 Regelwerk

Mauermörtel ist in DIN EN 998-2 geregelt. Für die Herstellung von Mauermörtel in Deutschland gibt es zwei Anwendungsnormen: DIN V 20000-412 und DIN V 18580.

DIN V 20000-412 regelt die Anforderungen an Mauermörtel nach DIN EN 998-2. Um die Tragfähigkeit von Mauermörtel höher ausnützen zu können, sind zusätzlich zur europäischen Norm auch noch die Anforderungen der DIN V 18580 – Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften – zu erfüllen.

Der Verwender entscheidet darüber, ob Mauermörtel gemäß DIN EN 998-2 und DIN V 20000-412 (nur Werkmörtel möglich) oder Mauermörtel gemäß DIN EN 998-2 und DIN V 18580 zur Anwendung kommt.

Die bisherige Bemessungsnorm für Mauerwerk, DIN 1053-1, wurde zurückgezogen, ist aber als bauaufsichtlich eingeführte Norm für genehmigte und in der Abwicklung befindliche Bauvorhaben noch anwendbar (Stand: 1. Juli 2017). Sie ist durch die europäische Bemessungsnorm für Mauerwerksbauten, der Normenreihe DIN EN 1996, Teil 1 bis Teil 3, mit den jeweiligen nationalen Anwendungsnormen, ersetzt.

16.2 Begriffe

Normalmauermörtel
Mauermörtel ohne besondere Eigenschaften.

Leichtmauermörtel
Mauermörtel nach Eignungsprüfung mit einer Trockenrohdichte des Festmörtels unterhalb eines bestimmten Wertes (siehe Tabelle 16.4.b).

Dünnbettmörtel
Mauermörtel nach Eignungsprüfung mit einem Größtkorn ≤ 1 mm für die Herstellung von Plansteinmauerwerk.

Werkmauermörtel
Trocken- oder Nassmörtel, der in einem Werk zusammengesetzt und gemischt wird.

Baustellenmauermörtel
Normalmauermörtel, der aus den einzelnen Ausgangsstoffen auf der Baustelle zusammengesetzt und gemischt wird.

Rezeptmauermörtel
Normalmauermörtel ohne Eignungsprüfung mit festgelegter Zusammensetzung (DIN V 18580, Anhang A).

16.3 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Tabelle 16.3.a: Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Ausgangsstoff	Anforderung nach	
	DIN V 20000-412	DIN V 18580
Bindemittel	■ Zemente nach DIN EN 197-1 oder DIN 1164-10, die nach den Tabellen 6.3.3.a bis 6.3.3.c für XF3 zulässig sind. ■ Putz- und Mauerbinder nach DIN EN 413-1 ■ Baukalke nach DIN EN 459-1	
Gesteinskörnungen [1)]	■ nach DIN EN 13139: – natürliche Gesteinskörnungen – industriell hergestellte Gesteinskörnungen – rezyklierte Gesteinskörnungen ■ nach DIN EN 13055-1: – natürliche Gesteinskörnungen: Lava, Naturbims, Tuff – aus natürlichen Rohstoffen und/oder aus industriellen Nebenprodukten hergestellte Gesteinskörnungen: z. B. Blähglas, Blähperlit, Blähton – industrielle Nebenprodukte: Hüttenbims nach DIN 4301, Kesselsand	
Zusatzstoffe	■ Baukalke nach DIN EN 459-1 ■ Füller (Gesteinsmehle) nach DIN EN 12620 ■ Trass nach DIN 51043 ■ Flugasche nach DIN EN 450-1 ■ Pigmente nach DIN EN 12878	■ Baukalke nach DIN EN 459-1 ■ Füller (Gesteinsmehle) nach DIN EN 12620 ■ Trass nach DIN 51043 ■ Flugasche nach DIN EN 450-1
Zusatzmittel	■ nach DIN EN 934-2 bzw. mit bauaufsichtlicher Zulassung ■ andere nur mit Nachweis der Unschädlichkeit (Prüfung des Halogengehalts und elektrochemische Prüfung)	

[1)] Für Baustellenmörtel nach DIN V 18580 dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 13139 verwendet werden. DIN V 18580, Anhang B, definiert zusätzliche Anforderungen an die Gesteinskörnungen.

16.4 Anforderungen an Mauermörtel nach Eignungsprüfung

Tabelle 16.4.a: Anforderungen an Normalmauermörtel

Eigenschaft	Anforderung nach	
	DIN V 20000-412 Mörtelgruppe [1] / Mörtelklasse [2]	DIN V 18580 Mörtelgruppe [1] / Mörtelklasse [2]
Trockenrohdichte [kg/m³]	≥ 1500	
Druckfestigkeit	siehe Tabelle 16.4.d	
Verbundfestigkeit [3] [N/mm²]	■ MG I / M 2,5: - ■ MG II / M 5: ≥ 0,04 [4] ■ MG IIa / M 10: ≥ 0,08 [4] ■ MG III / M 15: ≥ 0,10 [4] ■ MG IIIa / M 30: ≥ 0,12 [4]	■ MG I / M 1: - / - [5] ■ MG II / M 2,5: ≥ 0,04 / ≥ 0,10 [5] ■ MG IIa / M 5: ≥ 0,08 / ≥ 0,20 [5] ■ MG III / M 10: ≥ 0,10 / ≥ 0,25 [5] ■ MG IIIa / M 20: ≥ 0,12 / ≥ 0,30 [5]
Chloridgehalt [M.-%]	≤ 0,1 bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels	
Brandverhalten	Baustoffklasse A 1	

[1] Mörtelgruppen (MG) nach DIN 1053-1. Norm zurückgezogen, ist aber als bauaufsichtlich eingeführte Norm für genehmigte und in der Abwicklung befindliche Bauvorhaben noch anwendbar.

[2] Mörtelklassen (M) nach DIN EN 998-2.

[3] Die Verbundfestigkeit wird indirekt über die Prüfung der Haftscherfestigkeit (charakteristische Anfangsscherfestigkeit) ermittelt. Anstelle einer Prüfung können die Werte für die Haftscherfestigkeit auch nach DIN EN 998-2, Anhang C, angenommen werden; für Normalmauermörtel gilt danach der Wert: 0,15 N/mm².

[4] Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) nach DIN EN 1052-3. Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.

[5] Erster Wert: Gilt bei Prüfung der Haftscherfestigkeit nach DIN EN 1052-3; zweiter Wert: Gilt bei Prüfung der Mindesthaftscherfestigkeit (Mittelwert) nach DIN 18555-5 (Norm zurückgezogen, in DIN V 18580 aber noch zitiert). Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.

Tabelle 16.4.b: Anforderungen an Leichtmauermörtel

Eigenschaft	Anforderung nach	
	DIN V 20000-412 Mörtelgruppe 1) / Mörtelklasse 2)	DIN V 18580 Mörtelgruppe 1) / Mörtelklasse 2)
Trockenrohdichte [kg/m²]	▪ LM 21 / M 10: ≤ 700 ▪ LM 36 / M 10: > 700 und ≤ 1000	▪ LM 21 / M 5: ≤ 700 [3] ▪ LM 36 / M 5: ≤ 1000 [3]
Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]	▪ LM 21 / M 10: ≤ 0,18 ▪ LM 36 / M 10: ≤ 0,27	▪ LM 21 / M 5: ≤ 0,18 [4] ▪ LM 36 / M 5 : ≤ 0,27 [4]
Druckfestigkeit	siehe Tabelle 16.4.d	
Verbundfestigkeit [5] [N/mm²]	≥ 0,08 [6]	▪ LM 21 / M 5: ≥ 0,08 [7] ▪ LM 36 / M 5: ≥ 0,08 [7]
Längsdehnungsmodul E_l [8] [N/mm²]		▪ LM 21 / M 5: ≥ 2000 ▪ LM 36 / M 5: ≥ 3000
Querdehnungsmodul E_q [8] [N/mm²]		▪ LM 21 / M 5: ≥ 7500 ▪ LM 36 / M 5: ≥ 15000
Chloridgehalt [M.-%]	≤ 0,1 bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels	
Brandverhalten	Baustoffklasse A 1	

1) Mörtelgruppen (MG) nach DIN 1053-1. Norm zurückgezogen, ist aber als bauaufsichtlich eingeführte Norm für genehmigte und in der Abwicklung befindliche Bauvorhaben noch anwendbar.
2) Mörtelklassen (M) nach DIN EN 998-2.
3) Bei Einhaltung des Grenzwertes gelten die Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit ohne weiteren Nachweis als erfüllt. Mit Nachweis sind Trockenrohdichten bis zu 1300 kg/m³ zulässig.
4) Bei Überschreitung des Grenzwertes für die Trockenrohdichte von 1300 kg/m³ muss die Wärmeleitfähigkeit durch Prüfung nach DIN EN 1745 nachgewiesen werden.
5) Die Verbundfestigkeit wird indirekt über die Prüfung der Haftscherfestigkeit (charakteristische Anfangsscherfestigkeit) ermittelt. Anstelle einer Prüfung können die Werte für die Haftscherfestigkeit auch nach DIN EN 998-2, Anhang C, angenommen werden; für Leichtmauermörtel gilt der Wert 0,15 N/mm².
6) Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) nach DIN EN 1052-3. Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.
7) Wert gilt bei Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) nach DIN EN 1052-3.
8) Prüfung nach DIN 18555-4 (Norm zurückgezogen, in DIN V 18580 aber noch zitiert).

Tabelle 16.4.c: Anforderungen an Dünnbettmörtel

Eigenschaft	Anforderung nach	
	DIN V 20000-412	DIN V 18580
Trockenrohdichte [kg/m³]	≥ 1500	≥ 1300
Druckfestigkeit	siehe Tabelle 16.4.d	
Verbundfestigkeit [1] [N/mm²]	≥ 0,20 [2]	≥ 0,20 / ≥ 0,50 [3]
Verarbeitbarkeitszeit	≥ 4 Stunden	
Korrigierbarkeitszeit	≥ 7 Minuten	
Chloridgehalt [M.-%]	≤ 0,1 bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels	
Brandverhalten	Baustoffklasse A 1	

[1] Die Verbundfestigkeit wird indirekt über die Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) ermittelt. Anstelle einer Prüfung können die Werte für die Haftscherfes-tigkeit auch nach DIN EN 998-2, Anhang C, angenommen werden; für Dünnbettmörtel gilt der Wert 0,3 N/mm².

[2] Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) nach DIN EN 1052-3. Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.

[3] Erster Wert: Gilt bei Prüfung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit) nach DIN EN 1052-3; zweiter Wert: Gilt bei Prüfung der Mindesthaftscherfestigkeit (Mittelwert) nach DIN 18555-5 (Norm zurückgezogen, in DIN V 18580 aber noch zitiert). Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.

Tabelle 16.4.d: Mindestanforderungen an die Druckfestigkeit in Abhängigkeit von den Mörtelgruppen / Mörtelklassen

Mörtelart	Mörtelgruppe [1] nach DIN 1053-1	Mörtelklasse [2] nach	
		DIN V 20000-412	DIN V 18580
Normalmauermörtel	MG I	M 2,5	M 1
	MG II	M 5	M 2,5 [3]
	MG IIa	M 10	M 5 [3]
	MG III	M 15	M 10 [3]
	MG IIIa	M 30	M 20 [3]
Leichtmauermörtel	LM 21	M 10	M 5 [3]
	LM 36	M 10	M 5 [3]
Dünnbettmörtel	DM	M 15	M 10 [4]

[1] Mörtelgruppen (MG) nach DIN 1053-1. Norm zurückgezogen, ist aber als bauaufsichtlich eingeführte Norm für genehmigte und in der Abwicklung befindliche Bauvorhaben noch anwendbar.

[2] Die Ziffer in der Bezeichnung der Mörtelklassen (M) nach DIN EN 998-2 entspricht dem Mindestwert der Druckfestigkeit, z. B. hat M5 eine Mindestdruckfestigkeit von 5 N/mm².

[3] Zusätzlich werden Anforderungen an die Fugendruckfestigkeit (Lagerfuge) gestellt.

[4] Zusätzlich ist die Druckfestigkeit bei Feuchtlagerung (7 Tage im Klima 20/95, 7 Tage 20/65 und 14 Tage unter Wasser) nach 28 Tagen zu prüfen. Anforderung: Festigkeitsabfall ≤ 30 % bezogen auf die Lagerung nach DIN EN 1015-11.

16.5 Verwendung von Mauermörtel ohne Eignungsprüfung (Rezeptmörtel)

Für die Verwendung von Rezeptmauermörtel treffen DIN V 20000-412 und DIN V 18580 unterschiedliche Festlegungen:

- DIN V 20000-412: Rezeptmauermörtel nach DIN EN 998-2.
- DIN V 18580: Normalmauermörtel als Rezeptmörtel darf mit festgelegter Zusammensetzung nach DIN V 18580 als Baustellenmörtel verwendet werden. In Anhang A der DIN V 18580 sind die entsprechenden Mörtelzusammensetzungen angegeben. Ein zusätzlicher Konformitätsnachweis ist nicht erforderlich.

Tabelle 16.5.a: Baustellenmörtel – Zusammensetzung für Normalmauermörtel als Rezeptmörtel (Angaben in Raumteilen)

Mörtelgruppe [1]	Mörtelklasse [2]	Luftkalk		Hydraulischer Kalk (HL2)	Hydraulischer Kalk (HL5), Putz- und Mauerbinder (MC5)	Zement	Sand [3] aus natürlichem Gestein
		Kalkteig	Kalkhydrat				
MG I	M 1	1	–	–	–	–	4
		–	1	–	–	–	3
		–	–	1	–	–	3
		–	–	–	1	–	4,5
MG II	M 2,5	1,5	–	–	–	1	8
		–	2	–	–	1	8
		–	–	2	–	1	8
		–	–	–	1	–	3
MG IIa	M 5	–	1	–	–	1	6
		–	–	–	2	1	8
MG III	M 10	–	–	–	–	1	4

[1] Mörtelgruppen (MG) nach DIN 1053-1. Norm zurückgezogen, ist aber als bauaufsichtlich eingeführte Norm für genehmigte und in der Abwicklung befindliche Bauvorhaben noch anwendbar.

[2] Mörtelklassen (M) nach DIN EN 998-2 (Mindestanforderung an die Druckfestigkeit nach DIN V 18580).

[3] Die Werte beziehen sich auf den lagerfeuchten Zustand.

17 Brandschutz nach nationaler und europäischer Normung

Das Brandverhalten von Baustoffen wird durch die Klassifizierungssysteme der DIN 4102-1 bzw. der DIN EN 13501-1 definiert. Für den Nachweis des Brandverhaltens von Baustoffen dürfen die beiden Normen alternativ angewendet werden.

Die Klassifizierung von Bauteilen und die an sie gestellten bauaufsichtlichen Anforderungen an den Feuerwiderstand sind in der DIN 4102-2 bzw. DIN 13501-2 festgelegt. Der Feuerwiderstand (auch Brandwiderstand) eines Bauteils steht für die Dauer, während der ein Bauteil im Brandfall seine Funktion behält. Dabei muss das Bauteil mindestens die Tragfähigkeit und/oder den Raumabschluss (Verhinderung der Brandausbreitung oder Rauchdichtigkeit) sicherstellen.

17.1 Brandschutz nach DIN 4102

Die wesentlichen Regelungen für den Betonbau sind in den Teilen 1 bis 4 der Normenreihe DIN 4102 festgelegt

Tabelle 17.1.a: Für den Betonbau relevante Teile der Normenreihe DIN 4102

DIN 4102	Geltungsbereich	Inhalt	Brandschutzklassifizierung [1)]
Teil 1	Baustoffe	Prüfverfahren, Prüfanforderungen und Klasseneinteilung	A 1 - A 2 B 1 - B 3
Teil 2	Bauteile		F 30 - F 180
Teil 3	Brandwände und nichttragende Außenwände		W 30 - W 180
Teil 4	klassifizierte Baustoffe	Zuordnung von Baustoffen zu den Baustoffklassen	alle
	klassifizierte Bauteile	Vorgaben für die Ausführung von Bauteilen mit bestimmter Feuerwiderstandsdauer	

[1)] A, B = Baustoffklassen (A: nicht brennbar, B: brennbar bis leicht entflammbar).
F = Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen (F 30 - F 60: feuerhemmend, ≥ F 90: feuerbeständig).
W = Feuerwiderstandsklassen von nichttragenden Außenwänden.

17.1.1. Baustoffklassen nach DIN 4102

Die Baustoffe werden entsprechend ihrem Brandverhalten in nichtbrennbare (Klasse A) und brennbare Baustoffe (Klasse B) eingeteilt (siehe Tabelle 17.1.1.a).

Tabelle 17.1.1.a: Baustoffklassen und nach DIN 4102-4 zugeordnete Baustoffe (Beispiele)

Baustoffklasse	Bauaufsichtliche Benennung	Beispiele
A	nichtbrennbare Baustoffe	
A 1	–	Naturstein, Gesteinskörnungen, Zement, Kalk, Gips, Blähton, Blähperlite, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Porenbeton, Mörtel, Glas
A 2		Gipskartonplatten nach DIN 18180 mit geschlossener Oberfläche
B	brennbare Baustoffe	
B 1	schwerentflammbare Baustoffe	Holzwolle-Leichtbauplatten, Gipskartonplatten nach DIN 18180 mit gelochter Oberfläche, Wärmedämmverbundsysteme mit EPS-Hartschaum
B 2	normalentflammbare Baustoffe	Holz, Gipskarton-Verbundplatten
B 3	leichtentflammbare Baustoffe	Papier

17.1.2 Feuerwiderstandsklassen F von Bauteilen nach DIN 4102-2

Die Feuerwiderstandsdauer ist die Mindestdauer in Minuten, während der ein Bauteil beim Normbrandversuch nach DIN 4102-2 die dort gestellten Anforderungen erfüllt. Grundsätzlich kann bei entsprechender Dimensionierung von Beton- und Stahlbetonbauteilen sowie Bauteilen aus Leichtbeton, Betonmauersteinen und Porenbeton die höchste Feuerwiderstandsklasse erreicht werden.

Tabelle 17.1.2.a: Feuerwiderstandsklassen F von Bauteilen nach DIN 4102-2

Feuerwiderstandsklasse	Feuerwiderstandsdauer [Minuten]
F 30	≥ 30
F 60	≥ 60
F 90	≥ 90
F 120	≥ 120
F 180	≥ 180

Bei der Bezeichnung nach DIN 4102-2 wird zusätzlich zur Feuerwiderstandsklasse die Baustoffklasse der verwendeten Baustoffe genannt.

Tabelle 17.1.2.b: Benennung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen nach DIN 4102-2

Benennung nach DIN 4102-2 [1]	Bezeichnung	Feuerwiderstandsklasse	Baustoffklasse der wesentlichen Teile [2]	Baustoffklasse der übrigen Bestandteile
Feuerwiderstandsklasse F 30	F 30 - B	F 30	B	B
Feuerwiderstandsklasse F 30 und in den wesentlichen [2] Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 30 - AB		A	B
Feuerwiderstandsklasse F 30 und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 30 - A		A	A
Feuerwiderstandsklasse F 60	F 60 - B	F 60	B	B
Feuerwiderstandsklasse F 60 und in den wesentlichen [2] Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 60 - AB		A	B
Feuerwiderstandsklasse F 60 und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 60 - A		A	A
Feuerwiderstandsklasse F 90	F 90 - B	F 90	B	B
Feuerwiderstandsklasse F 90 und in den wesentlichen [2] Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 90 - AB		A	B
Feuerwiderstandsklasse F 90 und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 90 - A		A	A
Feuerwiderstandsklasse F 120	F 120 - B	F 120	B	B
Feuerwiderstandsklasse F 120 und in den wesentlichen [2] Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 120 - AB		A	B
Feuerwiderstandsklasse F 120 und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 120 - A		A	A
Feuerwiderstandsklasse F 180	F 180 - B	F 180	B	B
Feuerwiderstandsklasse F 180 und in den wesentlichen [2] Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 180 - AB		A	B
Feuerwiderstandsklasse F 180 und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 180 - A		A	A

[1] Diese Benennung betrifft nur die Feuerwiderstandsfähigkeit des Bauteils; die bauaufsichtlichen Anforderungen an Baustoffe für den Ausbau, die in Verbindung mit dem Bauteil stehen, werden hiervon nicht berührt.

[2] Zu den wesentlichen Teilen gehören:

Weitere Fußnoten nächste Seite ▶

- Alle tragenden oder aussteifenden Teile, bei nichttragenden Bauteilen auch die Bauteile, die deren Standsicherheit bewirken (z. B. Rahmenkonstruktionen von nichttragenden Wänden).
- Bei raumabschließenden Bauteilen eine in Bauteilebene durchgehende Schicht, die bei der Prüfung nach dieser Norm nicht zerstört werden darf. Bei Decken muss diese Schicht eine Gesamtdicke von mindestens 50 mm besitzen; Hohlräume im Innern dieser Schicht sind zulässig.

17.2 Brandschutz nach DIN EN 13501

Die europäische Brandschutznormung umfasst die Bereiche „Klassifizierungsnormen“ und „Prüfnormen“ sowie „Regeln zur erweiterten Anwendung“.

Tabelle 17.2.a: Übersicht zur europäischen Brandschutznormung

Norm	Inhalt
Klassifizierungsnormen	
DIN EN 13501-1	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
DIN EN 13501-2	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen mit Ausnahme von Lüftungsanlagen (gilt für Bauteile)
Prüfnormen	
DIN EN ISO 1182	Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten – Nichtbrennbarkeitsprüfung
DIN EN ISO 1716	Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten – Bestimmung der Verbrennungswärme
DIN EN 13823	Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen
DIN EN ISO 11925-2	Prüfungen zum Brandverhalten – Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeinwirkung – Teil 2: Einzelflammtest
DIN EN 1363-1 bis 3	Feuerwiderstandsprüfungen
DIN EN 1364-1 bis 4	Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile
DIN EN 1365-1 bis 6	Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile
DIN EN 14135	Brandschutzbekleidungen – Bestimmung der Brandschutzwirkung
DIN EN 13381-1 bis 8	Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen

17.2.1 Brandverhalten von Baustoffen / Bauprodukten nach DIN EN 13501-1

Baustoffe / Bauprodukte werden in 7 Klassen (bisher Baustoffklassen) von A bis F eingestuft. Analog zu DIN 4102-1 sind die nichtbrennbaren Baustoffe in die Klassen A1 und A2 eingestuft.

Klassifizierungskriterien sind

- Entzündbarkeit, Flammausbreitung und freiwerdenden Wärme,
- Rauchentwicklung s (smoke), brennendes Abfallen/Abtropfen von Baustoffen d (droplets).

Tabelle 17.2.1.a: Baurechtliche Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen / Bauprodukten [1]

Bauaufsichtliche Anforderungen	Zusatzanforderungen		Klasse zum Brandverhalten nach DIN EN 13501-1 [2] (Mindestanforderung)	Baustoffklasse nach DIN 4102-1 [3]
	Kein Rauch	Kein brennendes Abfallen / Abtropfen		
Nichtbrennbar	X	X	A1	A1
	X	X	A2-s1, d0	A2
Schwerentflammbar	X	X	B-s1, d0 / C-s1, d0	B1
	X	X	A2-s3, d0 / B-s3, d0 / C-s3, d0 A2-s1, d2 / B-s1, d2 / C-s1, d2	
	X		A2-s3, d2 / B-s3, d2 / C-s3, d2	
Normalentflammbar		X	D-s3, d0 / E D-s3, d2 E-d2	B2
Leichtentflammbar			F	B3

[1] Auszug aus Tabelle 1 zur Anlage 0.2.2 der Bauregelliste A, Teil 1, Ausgabe 2015/2.
[2] s (Smoke), d (Droplets); siehe auch Tabelle 17.2.1.b.
[3] Baustoffklassen siehe Tabelle 17.1.1.a.

Tabelle 17.2.1.b: Unterklassen der Brandnebenerscheinungen nach DIN 13501-1

Rauchentwicklung	Brennendes Abtropfen / Abfallen
s1: keine / kaum Rauchentwicklung	d0: kein Abtropfen / Abfallen
s2: begrenzte Rauchentwicklung	d1: begrenztes Abtropfen / Abfallen
s3: unbeschränkte Rauchentwicklung	d2: starkes Abtropfen / Abfallen

17.2.2 Feuerwiderstand von Bauteilen nach DIN EN 13501-2

Die Einstufung von Bauteilen in Feuerwiderstandsklassen nach DIN EN 13501-2 kann in Schritten von 15, 20, 30, 45, 90, 120 und 240 Minuten vorgenommen werden. Die Klassen setzen sich aus Buchstaben und der Feuerwiderstandsdauer in Minuten zusammen. Die Buchstaben kennzeichnen das jeweilige Leistungskriterium. Die für das deutsche Baurecht relevanten Kombinationsmöglichkeiten für Bauteile sind auszugsweise in Tabelle 17.2.2.a zusammengestellt.

Die europäische Klassifizierung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen berücksichtigt nicht das Brandverhalten der Baustoffe. Zur Erfüllung der bauaufsichtlichen Anforderungen im deutschen Bauordnungsrecht ist deshalb das Brandverhalten der Baustoffe zusätzlich nach DIN EN 13501-1 zu bestimmen (siehe Tabelle 17.2.1.a).

Tabelle 17.2.2.a: Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen nach DIN EN 13501-2 und ihre Zuordnung zu den bauaufsichtlichen Anforderungen [1) 2)]

Bauaufsichtliche Anforderung	Tragende Bauteile		Nichttragende Innenwände	Nichttragende Außenwände	Doppelböden	Selbständige Unterdecken
	Ohne Raumabschluß	mit Raumabschluß				
Feuerhemmend (30 Minuten)	R 30	REI 30	EI 30	E 30 (i → o) und EI 30-ef (i ← o)	REI 30	EI 30 (a ↔ b)
hochfeuerhemmend (60 Minuten)	R 60	REI 60	EI 60	E 60 (i → o) und EI 60-ef (i ← o)		EI 60 (a ↔ b)
Feuerbeständig (90 Minuten)	R 90	REI 90	EI 90	E 90 (i → o) und EI 90-ef (i ← o)		EI 90 (a ↔ b)
Feuerwiderstandsdauer 120 Minuten	R 120	REI 120	-	-		-
Brandwand	-	REI 90-M	EI 90-M	-		-

1) Anlage 0.1.2 zur Bauregelliste A, Teil 1, Ausgabe 2015/2.
2) Abkürzungen siehe Tabelle 17.2.2.b

Tabelle 17.2.2.b: Bedeutung der Kurzzeichen nach DIN EN

Kurzzeichen	Kriterium
R (Resistance)	Tragfähigkeit
E (Etancheite)	Raumabschluss
I (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung)
M (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung).
i → o (in - out)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer
i ← o (out - in)	
a ↔ b (above – below)	

Tabelle 17.2.2.c: Beispiel für die Klassifizierung der Feuerwiderstandsfähigkeit einer tragenden Wand, geprüft nach DIN EN 13501-1

Kriterium	Prüfergebnis	Klassifizierung
Tragfähigkeit (R)	105 Minuten	→ R 90
Tragfähigkeit (R) und Raumabschluß (E)	75 Minuten	→ R 60
Tragfähigkeit (R) und Raumabschluß (E) und Wärmedämmung (I)	45 Minuten	→ REI 30

(Zum Vergleich siehe Tabelle 17.1.2.a Feuerwiderstandsklassen F von Bauteilen nach DIN 4102-2: Tragende Wand mit Raumabschluss → F 30)

18 Auswahl von Normen und Richtlinien (Stand 7/2017)

(Ohne Gewähr: Es gilt jeweils die jüngste Ausgabe)

18.1 Zement, Bindemittel

DIN EN 197 Zement

- Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Ausgabe: 2011-11
- Teil 2: Konformitätsbewertung; Ausgabe: 2014-05

DIN 1164 Zement mit besonderen Eigenschaften

- Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt; Ausgabe: 2013-03
- Teil 11: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit verkürztem Erstarren; Ausgabe: 2003-11
- Teil 12: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen; Ausgabe: 2005-06

DIN EN 14216 Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme; Ausgabe: 2015-09

DIN EN 14647 Tonerdezement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2006-01 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2007-04

DIN EN 15743 Sulfathüttenzement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2015-06

DIN EN 196 Prüfverfahren für Zement

- Teil 1: Bestimmung der Festigkeit; Ausgabe: 2016-11
- Teil 2: Chemische Analyse von Zement; Ausgabe: 2013-10

	Teil 3:	Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit; Ausgabe: 2017-03
	Teil 5:	Prüfung der Puzzolanität von Puzzolanzementen; Ausgabe: 2011-06
	Teil 6:	Bestimmung der Mahlfeinheit; Ausgabe: 2010-05
	Teil 7:	Verfahren für die Probenahme und Probenauswahl von Zement; Ausgabe: 2008-02
	Teil 8:	Hydratationswärme; Lösungsverfahren; Ausgabe: 2010-07
	Teil 9:	Hydratationswärme; Teiladiabatisches Verfahren; Ausgabe: 2010-07
	Teil 10:	Bestimmung des Gehaltes an wasserlöslichem Chrom (VI) in Zement; Ausgabe: 2016-11
DIN EN 413	Putz- und Mauerbinder	
	Teil 1:	Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2011-07
	Teil 2:	Prüfverfahren; Ausgabe: 2016-12
DIN EN 459	Baukalk	
	Teil 1:	Begriffe, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2015-07
	Teil 2:	Prüfverfahren; Ausgabe 2010-12
	Teil 3:	Konfomitätsbewertung; Ausgabe: 2015-03
DIN EN 13282	Hydraulische Tragschichtbinder	
	Teil 1:	Schnell erhärtende hydraulische Tragschichtbinder – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2013-06
	Teil 2:	Normal erhärtende hydraulische Tragschichtbinder – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2015-07
	Teil 3:	Konformitätsbewertung; Ausgabe: 2015-06

18.2 Gesteinskörnungen

DIN EN 12620 Gesteinskörnungen für Beton; Ausgabe: 2008-07

DIN EN 13055 Leichte Gesteinskörnungen

Teil 1: Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel; Ausgabe: 2004-12

DIN 4226 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel

Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen; Ausgabe: 2002-02

DIN 4226 Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620

Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen; Ausgabe: 2017-08

Teil 102: Typ-Prüfung und Werkseigene Produktionskontrolle; Ausgabe: 2017-08

DIN EN 13139 Gesteinskörnungen für Mörtel; Ausgabe: 2013-07

DIN EN 932 Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen
Teile 1 bis 4 und Teil 6; Ausgaben: 1996-11 bis 2012-05

DIN EN 933 Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen
Teile 1 bis 11; Ausgaben: 1996-01 bis 2015-07

DIN EN 1097 Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen
Teile 1 bis 11; Ausgaben: 1998-06 bis 2014-09

DIN EN 1367 Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen

Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel; Ausgabe: 2007-06

Teil 2: Magnesiumsulfat-Verfahren; Ausgabe: 2010-02

Teil 6: Beständigkeit gegen Frost-Tau Wechsel in der Gegenwart von Salz (NaCl), Ausgabe: 2008-12

DIN EN 1744 Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen

Teil 1: Chemische Analyse; Ausgabe: 2013-03

DIN EN 16236 Bewertung der Konformität von Gesteinskörnungen – Erstprüfung und werkseigene Produktionskontrolle; Ausgabe: 2013-08

DIN V 18004 Anwendungen von Bauprodukten in Bauwerken – Prüfverfahren für Gesteinskörnungen nach DIN V 20000-103 und DIN V 20000-104, Vornorm; Ausgabe: 2004-04

DIN ISO 565 Metalldrahtgewebe – Lochplatten und elektrogeformte Siebfolien – Nennöffnungsweiten; Ausgabe: 1998-12

18.3 Zusatzmittel

DIN EN 934 Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel

Teil 1: Gemeinsame Anforderungen; Ausgabe: 2008-04

Teil 2: Betonzusatzmittel; Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; Ausgabe: 2012-08

Teil 3: Zusatzmittel für Mauermörtel; Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; Ausgabe: 2012-09 + A1: 2012

Teil 4: Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder; Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; Ausgabe: 2009-09

Teil 5: Zusatzmittel für Spritzbeton; Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2008-02

Teil 6: Probenahme, Konformitätskontrolle und Bewertung der Konformität; Ausgabe: 2006-03

DIN EN 480 Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpreßmörtel – Prüfverfahren, Teile 1 bis 15; Ausgaben 2005-12 bis 2015-01

18.4 Zusatzstoffe

DIN EN 450 Flugasche für Beton

- Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2012-10
- Teil 2: Konformitätsbewertung; Ausgabe: 2005-05

DIN EN 13263 Silikastaub für Beton

- Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2009-07
- Teil 2: Konformitätsbewertung; Ausgabe: 2009-07

DIN EN 15167 Hüttensandmehl zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einpressmörtel

- Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2006-12
- Teil 2: Konformitätsbewertung; Ausgabe: 2006-12

DIN 51043 Traß; Anforderungen, Prüfung; Ausgabe: 1979-08

DIN EN 12878 Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfverfahren; Ausgabe: 2014-07

DIN EN 14889 Fasern für Beton

- Teil 1: Stahlfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität; Ausgabe: 2006-11
- Teil 2: Polymerfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität; Ausgabe: 2006-11

18.5 Zugabewasser

DIN EN 1008 Zugabewasser für Beton – Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wassers, als Zugabewasser für Beton; Ausgabe: 2002-10

18.6 Beton

DIN EN 206 Beton

- Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Ausgabe: 2001-07 + A1-Änderung; Ausgabe: 2004-10 + A2-Änderung; Ausgabe: 2005-09
- Teil 9: Ergänzende Regeln für selbstverdichtenden Beton (SVB), Ausgabe: 2010-09 (Norm zurückgezogen, jedoch noch bauaufsichtlich eingeführt, Stand 7/2017)

DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton

- Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Ausgabe: 2008-08 (Aus der Liste der Technischen Baubestimmungen gestrichen und durch DIN EN 1992 ersetzt)
- Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; Ausgabe: 2008-08 [1)]
- Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670; Ausgabe: 2012-03 + Berichtigung 1: 2013-07 [1) 3)]
- Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen; Ausgabe: 2012-02 [1)]

DIN EN 13670 Ausführung von Tragwerken aus Beton; Ausgabe: 2011:03 [2)]

DIN EN 1992 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken [2) 3)]

- Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Ausgabe: 2011-01; mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA/A1; Ausgabe: 2015-12 [3)]
- Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksabmessungen für den Brandfall; Ausgabe: 2010-12; mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-2/NA/A1; Ausgabe: 2015-09

	Teil 2:	Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln; Ausgabe: 2013-04; mit nationalem Anhang DIN EN 1992-2-1/NA; Ausgabe: 2013-04
	Teil 3:	Silos und Behälterbauwerke aus Beton; Ausgabe: 2011-01; mit nationalem Anhang DIN EN 1992-3/NA; Ausgabe: 2011-01
DIN-Fachbericht 100		Beton; Zusammenstellung von: - DIN EN 206-1 Beton, Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, und - DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; Ausgabe: 2010-03 [1)]

[1)] Erläuterungen zu DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, -3, -4 und DIN EN 12620, DAfStb, Heft 526, Ausgabe: 2011-12
[2)] Konsolidierte und kommentierte Fassung siehe Schriften des Deutschen Beton-und Bautechnik Vereins (DBV)
[3)] Erläuterungen zu Eurocode 2, Heft 600, DAfStb, Ausgabe: 2012-09

DIN 4030		Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase
	Teil 1:	Grundlagen und Grenzwerte; Ausgabe: 2008-06
	Teil 2:	Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben; Ausgabe: 2008-06
DIN EN 12350		Prüfung von Frischbeton
	Teil 1:	Probenahme; Ausgabe: 2009-08
	Teil 2:	Setzmaß; Ausgabe: 2009-08
	Teil 3:	Vébé-Prüfung; Ausgabe: 2009-08
	Teil 4:	Verdichtungsmaß; Ausgabe: 2009-08
	Teil 5:	Ausbreitmaß; Ausgabe: 2009-08
	Teil 6:	Frischbetonrohdichte; Ausgabe: 2011-03
	Teil 7:	Luftgehalt; Druckverfahren; Ausgabe: 2009-08

	Teil 8:	Selbstverdichtender Beton – Setzfließversuch; Ausgabe: 2010-12
	Teil 9:	Selbstverdichtender Beton – Auslauftrichterversuch; Ausgabe: 2010-12
	Teil 10:	Selbstverdichtender Beton – L-Kasten-Versuch; Ausgabe: 2010-12
	Teil 11:	Selbstverdichtender Beton – Bestimmung der Sedimentationsstabilität im Siebversuch; Ausgabe: 2010-12
	Teil 12:	Selbstverdichtender Beton – Blockierring-Versuch; Ausgabe: 2010-12
ASTM C173/C 173 M		Bestimmung des Luftgehaltes von Frischbeton (Volumetrisches Verfahren); Ausgabe: 2016
DIN EN 12390	Prüfung von Festbeton	
	Teil 1:	Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen; Ausgabe: 2012-12
	Teil 2:	Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen; Ausgabe: 2009-08, mit nationalem Anhang DIN EN 12390-2/ A20; Ausgabe: 2015-12
	Teil 3:	Druckfestigkeit von Probekörpern; Ausgabe: 2009-07, + Berichtigung 1; Ausgabe 2011-11
	Teil 4:	Bestimmung der Druckfestigkeit; Anforderungen an Prüfmaschinen; Ausgabe: 2000-12
	Teil 5:	Biegezugfestigkeit von Probekörpern; Ausgabe: 2009-07
	Teil 6:	Spaltzugfestigkeit von Probekörpern; Ausgabe: 2010-09
	Teil 7:	Dichte von Festbeton; Ausgabe: 2009-07
	Teil 8:	Wassereindringtiefe unter Druck; Ausgabe: 2009-07

	Teil 9:	Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung, DIN SPEC 91167; Ausgabe: 2017-05
	Teil 10:	Bestimmung des relativen Karbonatisierungswiderstandes von Beton, DIN CEN / TS 12390-10 Vornorm; Ausgabe: 2007-12
	Teil 11:	Bestimmung des Chloridwiderstandes von Beton – Einseitig gerichtete Diffusion, Ausgabe: 2015-11
	Teil 13:	Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul); Ausgabe: 2014-06
DIN EN 12504	Prüfung von Beton in Bauwerken	
	Teil 1:	Bohrkernproben; Herstellung, Untersuchung und Prüfung unter Druck; Ausgabe: 2009-07
	Teil 2:	Zerstörungsfreie Prüfung; Bestimmung der Rückprallzahl; Ausgabe: 2012-12
	Teil 3:	Bestimmung der Ausziehkraft; Ausgabe: 2005-07
	Teil 4:	Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit; Ausgabe: 2004-12
DIN EN 13791	Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen; Ausgabe: 2008-05 mit Änderung A20, Ausgabe 2017-02	
DIN 18331	VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Betonarbeiten; Ausgabe: 2016-09	
ISO 4316	Grenzflächenaktive Stoffe; Bestimmung des pH-Wertes wässriger Lösungen; Potentiometermethode; Ausgabe: 1977-08	
ISO 7150-1	Wasserbeschaffenheit; Bestimmung von Ammonium; Teil 1: Manuelles spektrometrisches Verfahren; Ausgabe: 1984-06	
DIN EN ISO 7980	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Calcium und Magnesium – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie; Ausgabe: 2000-07	

18.7 Estrich

DIN 18560 Estriche im Bauwesen

- Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Prüfung und Ausführung; Ausgabe: 2015-11
- Teil 2: Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten (schwimmende Estriche); Ausgabe: 2009-09 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2012-05
- Teil 3: Verbundestriche; Ausgabe: 2006-03
- Teil 4: Estriche auf Trennschicht; Ausgabe: 2012-06
- Teil 7: Hochbeanspruchbare Estriche; Ausgabe: 2004-04

DIN 1100 Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche – Anforderungen und Prüfverfahren; Ausgabe: 2004-05

DIN EN 13318 Estrichmörtel und Estriche – Begriffe; Ausgabe: 2000-12

DIN EN 13813 Estrichmörtel, Estrichmassen und Estriche – Estrichmörtel und Estrichmassen – Eigenschaften und Anforderungen; Ausgabe: 2003-01

DIN EN 13892 Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen

- Teil 1: Probenahme, Herstellung und Lagerung der Prüfkörper; Ausgabe: 2003-02
- Teil 2: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit; Ausgabe: 2003-02
- Teil 3: Bestimmung des Verschleißwiderstandes nach Böhme; Ausgabe: 2015-03
- Teil 4 Bestimmung des Verschleißwiderstandes nach BCA; Ausgabe: 2003-02
- Teil 5 Bestimmung des Widerstandes gegen Rollbeanspruchung von Estrichen für Nutzschichten; Ausgabe: 2003-09
- Teil 6 Bestimmung der Oberflächenhärte; Ausgabe: 2003-02

Teil 7 Bestimmung des Widerstandes gegen Rollbeanspruchung von Estrichen mit Bodenbelägen; Ausgabe: 2003-09

Teil 8 Bestimmung der Haftzugfestigkeit; Ausgabe: 2003-02

DIN 18353 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Estricharbeiten; Ausgabe: 2016-09

18.8 Mauermörtel

DIN EN 998 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau

Teil 1: Putzmörtel; Ausgabe 2010-12

Teil 2: Mauermörtel; Ausgabe: 2010-12

DIN V 18580 Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften, Vornorm; Ausgabe: 2007-03

DIN V 20000 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken

Teil 412: Regeln für die Verwendung von Mauermörtel nach DIN EN 998-2:2003-09, Vornorm; Ausgabe: 2004-03

DIN 18555-5 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln

Teil 5: Festmörtel. Bestimmung der Haftscherfestigkeit von Mauermörteln; Ausgabe: 1986-03 (Norm zurückgezogen, wird aber in DIN V 18580 zitiert)

DIN EN 1015 Prüfverfahren für Mörtel und Mauerwerk

Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel; Ausgabe: 2007-05

DIN 1053 Mauerwerk

Teil 1: Berechnung und Ausführung; Ausgabe 1996-11 (Stand 7/2017: Norm zurückgezogen, ist aber noch als bauaufsichtlich eingeführte Norm anwendbar, ausgenommen für die Anforderungen an den Mauermörtel)

Teil 4: Fertigbauteile; Ausgabe: 2013-04

DIN EN 1052 Prüfverfahren für Mauerwerk
Teil 3: Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit); Ausgabe: 2007-06

DIN EN 1745 Mauerwerk und Mauerwerksprodukte. Verfahren zur Bestimmung von wärmeschutztechnischen Eigenschaften; Ausgabe: 2012-07

DIN EN 1996 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Ausgabe: 2013-11 mit nationalem Anhang DIN EN 1996-1-1/NA; Ausgabe: 2012-05 + A1; Ausgabe: 2014-03 + A2; Ausgabe: 2015-01

Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall; Ausgabe 2011-04 mit nationalem Anhang DIN EN 1996-1-2/NA; Ausgabe: 2013-06

Teil 2 Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; Ausgabe: 2010-12 mit nationalem Anhang DIN EN 1996-2/NA; Ausgabe: 2012-01

18.9 Weitere Normen

DIN 4172 Maßordnung im Hochbau; Ausgabe: 2015-09

DIN 1076 Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung; Ausgabe: 1999-11

DIN 488 Betonstahl

Teil 1: Stahlsorten, Eigenschaften, Kennzeichnung; Ausgabe: 2009-08

Teil 2: Stabstahl; Ausgabe: 2009-08

Teil 3: Betonstahl in Ringen, Bewehrungsdraht; Ausgabe: 2009-08

Teil 4: Betonstahlmatten; Ausgabe: 2009-08

Teil 6: Übereinstimmungsnachweis; Ausgabe: 2010-01

DIN EN 1536	Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Bohrpfähle; Ausgabe: 2010-12
DIN EN 1538	Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Schlitzwände; Ausgabe: 2010-12
DIN SPEC 18140	Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 1536: 2010-12, Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Bohrpfähle; Ausgabe: 2012-02
DIN 18551	Spritzbeton – Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen; Ausgabe: 2015-08
DIN EN 14487	Spritzbeton
	Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität; Ausgabe: 2006-03
	Teil 2: Ausführung; Ausgabe: 2007-01
DIN EN 14488	Prüfung von Spritzbeton
	Teil 1: Probenahme von Frisch- und Festbeton; Ausgabe: 2005-11
	Teil 2: Druckfestigkeit von jungem Spritzbeton; Ausgabe: 2006-09
	Teil 3: Biegefestigkeiten von faserverstärkten balkenförmigen Betonprüfkörpern; Ausgabe: 2006-09
	Teil 4: Haftfestigkeit an Bohrkernen bei zentrischem Zug; Ausgabe: 2008-08
	Teil 5: Bestimmung der Energieabsorption bei faserverstärkten plattenförmigen Prüfkörpern; Ausgabe 2006-08
	Teil 6: Schichtdicke von Beton auf einem Untergrund; Ausgabe: 2006-09
	Teil 7: Fasergehalt von faserverstärktem Beton; Ausgabe: 2006-08
DIN EN 445	Einpressmörtel für Spannglieder – Prüfverfahren; Ausgabe: 2008-01
DIN EN 447	Einpressmörtel für Spannglieder – Allgemeine Anforderungen; Ausgabe: 2008-01

DIN 11622	Gärfuttersilos, Güllebehälter, Behälter in Biogasanlagen, Fahrsilos
	Teil 2: Gärfuttersilos, Güllebehälter und Behälter in Biogasanlagen aus Beton; Ausgabe: 2015-09
	Teil 5: Fahrsilos; Ausgabe: 2015-09
	Teil 22: Betonschalungssteine für Gärfuttersilos, Güllebehälter, Fahrsilos und Güllekanäle; Ausgabe: 2015-09
DIN EN 12255	Kläranlagen – Teil 1: Allgemeine Baugrundsätze; Ausgabe: 2002-04
DIN V 18500	Betonwerkstein; Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Überwachung; Ausgabe: 2006-12
DIN EN 15804	Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Ausgabe: 2014-07
DIN EN 15978	Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode; Ausgabe: 2012-10
DIN EN 16627	Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der ökonomischen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethoden; Ausgabe: 2015-09
DIN 4102	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
	Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; Ausgabe: 1998-05
	Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; Ausgabe: 1977-09
	Teil 3: Brandwände und nichttragende Außenwände; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; Ausgabe: 1977-09
	Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile; Ausgabe: 2016-05
DIN EN 13501	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten

Teil 1:	Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten; Ausgabe: 2010-01
Teil 2:	Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Ausgabe: 2016-12
DIN-Taschenbuch 300	Brandschutz, Teile 1 bis 6; Ausgaben: 2015-2017

18.10 Regelwerke im Ingenieur- und Wasserbau

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING); Ausgabe: 2014-12

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215); Ausgabe: 2012

Merkblätter der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

BAW-Merkblatt Frostprüfung von Beton; Ausgabe: 2012

BAW-Merkblatt Chlorideindringwiderstand von Beton; Ausgabe: 2012

18.11 Regelwerke im Verkehrswegebau

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB); Ausgabe: 2007

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen (ZTV BEB-StB); Ausgabe: 2015

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau Ländlicher Wege (ZTV LW); Ausgabe: 2016

Technische Lieferbedingungen und Prüfvorschriften

Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB); Ausgabe: 2004 (Fassung 2007)

Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TL Beton-StB); Ausgabe: 2007

Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen (TL BEB-StB); Ausgabe: 2015

Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen, Baustoffe, Baustoffgemische und Bauprodukte für den Bau ländlicher Wege (TL LW); Ausgabe: 2016

Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TP Beton-StB); Ausgabe: 2010

Technische Prüfvorschriften für Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen [1)] (TP B-StB): Fassung 7/2016

[1)] Loseblattsammlung, wird laufend fortgeschrieben. Ausgabedatum ist die aktuelle Fassung zum Redaktionsschluss der BTD. Ersetzt TP Beton-StB 10 „Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“ und TP BEB RH-StB 02, bezieht sich zurzeit in Teilen auf die beiden vorgenannten TP.

Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau – (TP Gestein-StB); Ausgabe: 2012

Technische Lieferbedingungen für flüssige Beton-Nachbehandlungsmittel (TL NBM-StB); Ausgabe: 2009

Merkblätter der Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)

Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton, Ausgabe: 2004

Merkblatt für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton, Teil 1, Kreisverkehre, Busverkehrsflächen und Rastanlagen (M VaB, Teil 1); Ausgabe: 2013

Merkblatt für Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton, Teil 2, Stadt- und Landstraßen sowie plangleiche Knotenpunkte mit Hinweisen zur baulichen Erhaltung (M VaB, Teil 2); Ausgabe: 2015

Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsfächen (M VV); Ausgabe: 2013 Merkblatt für Dränbetontragschichten (M DBT); Ausgabe 2013

Merkblatt für die Whitetopping-Bauweise (M WT); Ausgabe 2013

Merkblatt für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen aus Beton (M BEB); Ausgabe 2009

Allgemeine Rundschreiben Straßenbau

ARS Nr 12/2008: Einführung ZTV Beton-StB 07

ARS Nr 13/2008: Einführung TL Beton-StB 07

ARS Nr 27/2012: Korrekturen ZTV Beton-StB 07

ARS Nr 28/2012: Korrekturen TL Beton-StB 07

ARS Nr 4/2013: Vermeidung von Schäden an Fahrbahndecken aus Beton in Folge von Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)

ARS Nr 7/2015: Einführung ZTV BEB-StB 15

Richtlinien

für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12); Ausgabe: 2012

18.12 Richtlinien und Hefte des DAfStb

Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel (Trockenbeton-Richtlinie); Ausgabe: 2005-06

Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (Verzögerter Beton) – Erstprüfung, Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung; Ausgabe: 2006-11

Massige Bauteile aus Beton – Teile 1, 2 und 3; Ausgabe: 2010-04

Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620; Ausgabe: 2010-09

Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – Teile 1, 2 und 3; Ausgabe: 2011-03

Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie); Teile 1, 2 und 3; Ausgabe: 2012-09

Wärmebehandlung von Beton; Ausgabe: 2012-11

Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie); Ausgabe: 2003-11, Berichtigung (2011-03) und Auslegungen zur WU-Richtlinie (2012-11)

Stahlfaserbeton – Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA, DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 und DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3; Teile 1, 2 und 3; Ausgabe: 2012-11

Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie); Ausgabe: 2013-10 und Auslegungen zur Alkali-Richtlinie (2015-11)

Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie); Ausgabe: 2001-10; 1. Berichtigung 2002-01; 2. Berichtigung 2005-12 (Richtlinie in Teilen außer Kraft gesetzt; in Überarbeitung)

Heft 337: Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen; (1982)

Heft 525: Erläuterungen zu DIN 1045-1; (2010)

Heft 526: Erläuterungen zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN EN 12620; (2011)

Heft 555: Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton; (2006)

Heft 600: Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2); (2012)

Heft 606: Unbewehrte Betonfahrbahnplatten unter witterungsbedingten Beanspruchungen; (2014)

Heft 614: Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton; (2015)

18.13 Merkblätter des DBV

Bautechnik

Parkhäuser und Tiefgaragen; 2. überarbeitete Ausgabe: 2010-09

Brückenkappen aus Beton; Ausgabe: 2011-04

WU-Dächer, Ausgabe: 2013-06

Industrieböden aus Stahlfaserbeton; Ausgabe: 2013-07

Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen; Ausgabe: 2014-01

Betondeckung und Bewehrung nach EC 2; Ausgabe: 2015-12

Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau, Ausgabe: 2016-05

Industrieböden aus Beton; Ausgabe: 2017-02

Betontechnik

Hochfester Beton; Ausgabe: 2002-03

Selbstverdichtender Beton; Ausgabe: 2004-12

Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton; Ausgabe: 2014-01

Chemischer Angriff auf Betonbauwerke – Bewertung des Angriffsgrads und geeignete Schutzprinzipien; Ausgabe: 2014-07

Unterwasserbeton; Ausgabe: 2014-10

Bauausführung

Betonieren im Winter; Ausgabe: 2004

Betonschalungen und Ausschalfristen; Ausgabe: 2013-06

Betonierbarkeit von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton; Ausgabe: 2014-01

Sichtbeton; Ausgabe: 2015-06

Bauprodukte

Abstandhalter nach EC 2; Ausgabe: 2011-01

Unterstützungen nach EC 2; Ausgabe: 2011-01

Bauen im Bestand

Leitfaden; Ausgabe: 2008-01

Brandschutz; Ausgabe: 2008-01

Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen; Ausgabe: 2014-01

Bewertung der in-situ-Druckfestigkeit von Beton, Ausgabe: 2016-03

Beton und Betonstahl; Ausgabe: 2016-03

19 Zeichen, Einheiten und Dezimalfaktoren

Tabelle 19.a: Symbole nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2

Symbol	Bedeutung
$f_{ck,cyl}$	charakteristische Betondruckfestigkeit von Zylindern
$f_{c,cyl}$	Betondruckfestigkeit, geprüft am Zylinder
$f_{ck,cube}$	charakteristische Betondruckfestigkeit von Würfeln
$f_{c,cube}$	Betondruckfestigkeit, geprüft am Würfel
$f_{c,dry}$	Betondruckfestigkeit von Probekörpern, gelagert nach DIN EN 12390-2/A20: 2015-12, Anhang NA
f_{cm}	mittlere Druckfestigkeit des Betons
$f_{cm,j}$	mittlere Druckfestigkeit des Betons im Alter von (j) Tagen
f_{ci}	einzelnes Prüfergebnis für die Druckfestigkeit von Beton
f_{tk}	charakteristische Spaltzugfestigkeit von Beton
f_{tm}	mittlere Spaltzugfestigkeit von Beton
f_{ti}	einzelnes Prüfergebnis für die Spaltzugfestigkeit von Beton
σ	Schätzwert für die Standardabweichung einer Gesamtheit
s_n	Standardabweichung von aufeinander folgenden Prüfergebnissen
w/z	Wasserzementwert
$(w/z)_{eq}$	äquivalenter Wasserzementwert
k_f	*k*-Wert zur Anrechnung von Flugasche
k_s	*k*-Wert zur Anrechnung von Silikastaub

Tabelle 19.b: Dezimalfaktoren und deren Abkürzungen

Vorsatzzeichen	M	k	d	c	m	µ	n
Vorsatzname	Mega	Kilo	Dezi	Zenti	Milli	Mikro	Nano
Faktor	10^6	10^3	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}

Tabelle 19.c: Teilmengen

Einheit	Teilmengen	Beispiele für Teilmengen bezogen auf		
		Volumen	Masse	
1 Prozent (1 %)	$1/100 = 10^{-2}$	10 l/m³	10 g/kg	10 kg/t
1 Promille (1 ‰)	$1/1000 = 10^{-3}$	1 l/m³	1 g/kg	1 kg/t
1 ppm	10^{-6}	1 ml/m³	1 mg/kg	1 g/t
1 ppb	10^{-9}	0,001 ml/m³ (1 µl/m³)	0,001 mg/kg (1 µg/kg)	1 mg/t

Tabelle 19.d: Zeichen und Einheiten

Größe	Zeichen	Einheit seit 1.1.1978	Umrechnung alter Einheiten in aktuelle Einheiten
Länge	l	m	-
Fläche	A	mm²	1 cm² = 100 mm²
Volumen	V	dm³	1 l = 1 dm³
Masse	m	kg	-
Dichte	ρ	kg/dm³	-
Zeit	t	s	1 h = 3600 s
Kraft, Last	F	N	1 kp ~ 10 N
Druck	P	Pa	1 bar = $1 \cdot 10^5$ Pa = $1 \cdot 10^5$ N/m² = 10 N/cm²
Festigkeit	f	N/mm² = MPa	1 kp/cm² ~ 0,1 N/mm² ~ 0,1 MPa
Moment	M	Nm	1 kpm ~ 10 Nm
dynamische Viskosität	η	Pa·s	1 P = 0,1 Pa·s
Leistung	P	W = J/s	1 PS = 735 W = 0,735 kW
Oberflächenspannung	σ	N/m = J/m²	1 kp/m ~ 10 N/m
Temperatur	T	K °C	°C = K - 273,15
Temperaturdifferenz	ΔT	K	1 grd = 1 K
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)	1 kcal/(m·h·grd) = 1,16 W/(m·K)
Wärmemenge, Energie, Arbeit	Q, E, W	J = Ws = Nm	1 kcal ~ 4,2 kJ ~ 4,2 kWs ~ 4,2 KNm

20 Statistische Auswertung von Prüfwerten

20.1 Statistische Auswertung über den arithmetischen Mittelwert

Bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse von Betonprüfungen werden i.d.R. der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$, die Standardabweichung s und der Variationskoeffizient V als Maß für die Streuung bestimmt.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$V = \frac{s \cdot 100}{\bar{x}}$$

mit $\bar{x}$ – arithmetischer Mittelwert der Prüfergebnisse
x – einzelne Prüfergebnisse
n – Anzahl der Prüfergebnisse
s – Standardabweichung
V – Variationskoeffizient

Die Auswertung, z. B. für Betondruckfestigkeitsergebnisse, kann auch zeichnerisch wie folgt durchgeführt werden (Abbildung 20.1.a):

- Die Prüfergebnisse werden in Klassen eingeteilt und in ein Häufigkeitsdiagramm eingetragen. Jeder Eintrag entspricht einem Prüfergebnis.
- Die Einträge werden innerhalb jeder Klasse gezählt und ihre Anzahl in der Zeile „Häufigkeit“ eingetragen.
- Die Summenhäufigkeit wird von links beginnend bestimmt.
- Die prozentuale Summenhäufigkeit wird berechnet. Diese Werte werden in das Wahrscheinlichkeitsnetz (Normalverteilung) eingetragen und es wird eine Ausgleichs-Gerade gezogen.
- Der Mittelwert $\bar{x}$ wird an der 50 %-Linie abgelesen.

- Die Standardabweichung s (Gesamtstreuung) ist die halbe Differenz der Festigkeiten bei 16 % und 84 % Summenhäufigkeit. Im Bereich $\bar{x} \pm s$ liegen etwa zwei Drittel aller vorkommenden Prüfwerte.
- Die 5 %- bzw. 10 %-Linie (5 %- bzw. 10 % Quantil) im Wahrscheinlichkeitsnetz gibt die Grenze an, die von höchstens 5 % bzw. 10 % der Prüfwerte unterschritten wird.

Im Fall einer Normalverteilung gilt annäherungsweise:

- Mittelwert $\bar{x} \pm$ Standardabweichung (s): 68 % aller (Mess-)Werte sind erfasst
- Mittelwert $\bar{x} \pm$ 2fache Standardabweichung (2s): 95 % aller (Mess-)Werte sind erfasst
- Mittelwert $\bar{x} \pm$ 3fache Standardabweichung (3s): 99 % aller (Mess-)Werte sind erfasst

20.2 Auswertung von Prüfergebnissen über den Median

Der Median $\tilde{x}$ ist ein Mittelwert, der durch Extremwerte weniger beeinflusst wird als das arithmetische Mittel. Er wird deshalb insbesondere bei Verdacht auf Ausreißer verwendet.

Median $\tilde{x}$:

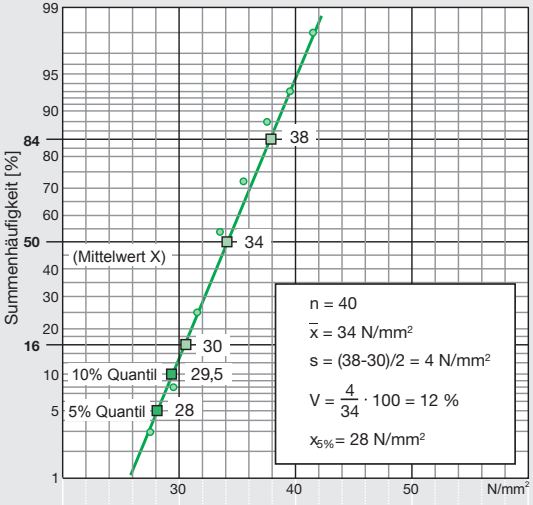
- Bei ungerader Anzahl der Einzelwerte der mittlere der nach der Größe geordneten n Einzelwerte
- Bei gerader Anzahl der Einzelwerte das *arithmetische Mittel* der beiden in der *Mitte* stehenden Einzelwerte.

Der Median wird z. B. bei der Auswertung der Rückprallhammerprüfung nach DIN EN 12504-2 verwendet (Tabelle 20.2.a):

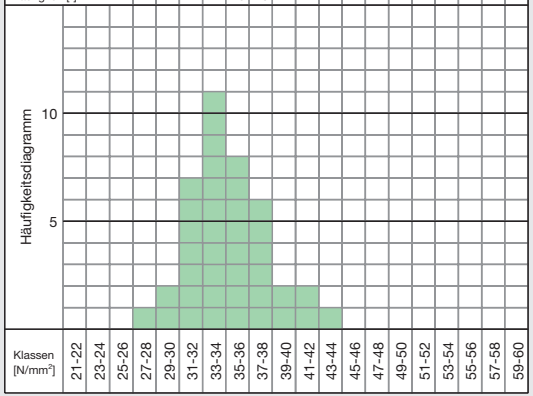
Tabelle 20.2.a: Auswertung der Ergebnisse einer Rückprallhammerprüfung

Messpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Messwert	40	38	38	43	44	38	42	44	40
Nach Größe geordnete Messwerte	38	38	39	40	40	42	43	44	44
Median					40				

Abbildung 20.1.a: Beispiel einer Festigkeitsauswertung – Wahrscheinlichkeitsnetz



Summenhäufigkeit [%]	3	8	25	53	72	88	93	98	100
Summenhäufigkeit [-]	**1**	3	10	21	29	35	37	39	40
Häufigkeit [-]	**1**	2	7	11	8	6	2	2	1



21 Stichwortverzeichnis (Verweise auf Kapitelnummern)

A
Abdichtungsmittel 3.17
Alkaliempfindlichkeitsklassen 2.5.1, 4.1.5
Alkaligehalt 1.3.1, 2.5, 4.1.5, 4.2.4, 13.2.2
Alkali-Kieselsäure-Reaktion. 2.5, 4.1.5, 6.2.1.8
Anfangsfestigkeit. 1.2, 1.2.3, 1.2.4, 1.5.1
Annahmeprüfung. 6.4.1, 10.8, 11.3
Ausbreitmaßklassen 6.2.2, 11.1.2
Außenbauteil 9.1.2
B
Bauproduktenverordnung 1.8
Baustellenbeton. 6.1
Baustellenmauermörtel 16.2
Beanspruchungsklasse 12.4.2
Beschleuniger 3.7, 3.8, 3.9, 12.8.2, 12.8.3
Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis 250 °C. 6.3.8, 10.8.1
Beton für Umgang mit wassergefährdenden Stoffen 12.11
Beton mit besonderen Eigenschaften 6.3.8
Beton mit hohem Wassereindringwiderstand 12.4
Beton nach Eigenschaften 6.1, 6.4.1, 6.4.2, 7.2, 10.8.2
Beton nach Zusammensetzung. 6.1, 6.4.1, 6.4.3, 7.3, 10.8.3
Betonentwurf. 9.1
Betonstraßenbau . . . . . .13.3, 13.4, Anhang A5
Betontechnologie 9
Betontemperatur 6.3.7, 9.4, 9.5, 10.3, 10.4, 10.5, 12.3.3, 13.2.5
Betonverflüssiger. 3.1
Betonzusatzmittel 3
Betonzusatzmittel, Verwendung 3.20
Betonzusatzmittel, Zugabemenge. 3.20
Betonzusatzstoffe 4
Bindemittel 1
Biogasanlagen. 12.12
Blaine-Wert 1.5.7
Blockierring 11.1.5, 12.10.2
Bluten 3.4, 3.11, 12.1.1

Bohrpfahl 4.1.3, 13.1.3
Bohrpfahlbeton 9.1.1, 12.5
Brandschutz 10.1, 17
Brandnebenerscheinungen 17.2.1
Brücken 13.1.3, 13.2
C
Calciumaluminatzement 1.9
Calciumsulfat 1.1, 15
CE-Kennzeichnung 1.8
Charakteristische Festigkeit 6.1, 6.2.3
Chemischer Angriff 6.2.1.6, 6.3.2, 13.1.3
Chloridangriff 2.3, 6.2.1.3, 6.2.1.4, 6.3.2
Chloridgehalt 2.4.2, 4.4, 6.3.6, 12.8.3
Chromat 1.7
Chromatreduzierer 3.14
D
Dichte, Gesteinskörnung 2.1, 2.3, 2.4, 2.6
Dichtstromverfahren . . . . . 12.8 .2, 12.8.3
Dichtungsmittel 3.5
Dränbeton 4.5
Dränbetondecken, -tragschichten 12.13
Druckfestigkeit, Abschätzung 9.2, 9.7
Druckfestigkeit, Beton 5.1, 6.2.3, 6.3.2, 9.2, 9.7, 11.2.2
Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken 11.3
Druckfestigkeit, Zement 1.5.1
Druckfestigkeit / Zugfestigkeit von Beton 11.2.2
Druckfestigkeitsklassen 6.2.3
D-Summe 2.7.2
Dünnstromverfahren 12.8.2
E
Eignungsprüfung 13.2.6, 16.4
Einpresshilfe 3.10
E-Modul, Elastizitätsmodul 9.6.4, 11.2.10
Entmistungsbahnen 12.12
EPD 14
Erhärtungsbeschleuniger 3.7
Erstarren von Zement 1.3.2, 1.5.2, 3.3, 3.6, 3.8, 3.9, 10.5
Erstarrungsbeschleuniger 3.8, 3.9, 3.20, 12.8.3

Erstprüfung 6.4.1, 7.2, 8.1, 9.3, 12.6.6, 13.4.2
Estrich 15
Expositionsklasse . 4.1.1, 6.1, 6.2.1, 6.3.2, 6.3.3, 6.3.4, 9.1, 10.1, 10.7, 10.8, 12.7, 12.12, 13.1 .3, 13.1.5, 13.2.1, 13.2.5, 13.3.1, 13.3.4

F

Fahrbahndeckenbeton 13.3
Fahrsilos 12.12
Fasern 4.6
FD-Beton 12.11
FDE-Beton 12.11
Feinanteil 2.1, 2.2, 2.3
Feinstsandgehalt 12.2.2, 12.6.5
Fermenter 12.12
Festbeton. 13.1.4, 13.2.5, 13.2.6, 13.3.4, 13.4.2
Festbeton, Prüfung 11.2
Festbeton, Temperatur 9.5
Festlegung von Beton 6.1, 6.4, 7.2, 9.1
Festmistplatten 12.12
Feuchtigkeitsklassen 2.5.1, 4.1.5, 6.2.1, 6.3.2, 9.1.1, 13.1.2, 13.1.3, 13.3.1
Feuerwiderstandsklassen 17.1, 17.2.2
Filterbeton 4.5
Fließbeton 6.1, 6.3.7, 9.1.2, 12.3.2
Fließmittel 3.2, 3.3, 12.2.2, 12.9.1, 12.10
Fließmittelzugabe 6.3.7, 8.2.1, 13.1.2, 13.1.4, 13.3.2
Flugasche . . .1.1, 1.2, 1.4, 4, 4.1, 12.2.2, 12.3.2, 12.5.3, 13.1.2, 13.1.4
Flüssigkeitsdichter Beton 12.11
Formänderung 9.6
Frischbeton 13.1.4, 13.3.4, 13.4.3
Frischbeton, Prüfung 10.8, 11.1
Frischbeton, Temperatur 6.3.7, 8.1, 9.4, 10.3, 10.7, 12.3, 13.1.4, 13.2.5, 13.2.6, 13.3.5
Frostangriff . . .2.2.1, 2.3, 2.4.1, 3.4, 3.7, 3.8, 3.16, 6.2.1.5, 6.3.2, 6.3.5
Frost-Tausalzangriff 6.3.2, 6.3.5
Frost-Tausalzwiderstand 2.3, 3.4, 3.16,11.2.7
Frostwiderstand. 2.2.1, 2.3, 2.4.2, 3.4, 3.16
Frühfester Straßenbeton 13.4
Füller 2.1, 4, 4.3

G
Gärfutterbehälter 11.2
Gefahrenhinweise, Gefahrenpiktogramme,
Gefahrensätze für Zement 1.7
Gefrierbeständigkeit von Beton 10.4
Gesteinskörnungen 2, 6.3.1
Gesteinskörnungen, alkaliempfindlich 2.5, 4.1.5, 4.2.4
Gesteinskörnungen, leichte 2.3, 2.6
Gesteinskörnungen, normale 2.2, 2.6
Gesteinskörnungen, rezyklierte 2.4
Gesteinskörnungen, schwere 2.6
Gesteinsmehle 2.1, 4.3
Gesundheitliche Relevanz, Zement 1.7
Glühverlust 4.1, 4.2, 4.3
Grenzwerte der Betonzusammensetzung 6.3.2, 9.1.2, 12.3.2, 13.1.3, 13.3.4
Größtkorn, Gesteinskörnung 6.2.4
Güllebehälter 12.12
H
Hallenböden 12.12
Haufwerksporiger Beton 4.5, 6, 12.13
Hauptbestandteile, Zement 1.1, 1.2, 1.4
Hochfester Beton 3.20, 6.2.3, 6.3, 7.2.2, 12.2
Hochofenschlacke 1.1
Hochofenzement 1.2, 1.2.2, 1.2.4, 1.3.1, 1.4, 1.5.2, 1.5.4, 1.5.6
Hohlkugeln, elastische 3.16
Hüttensand 1.1, 1.2, 1.4
Hüttensandmehl 4, 4.2
Hüttensandgehalt 1.3.1, 13.3.2
Hydratation 1.9, 3.6, 4.5, 9.6.1
Hydratationswärme 1.2.1, 1.4, 1.5.4, 9.5, 12.3
Hydrolysebeständigkeit 12.7.3
K
Kalkstein 1.1, 1.2, 1.9.1, 2.6, 6.3.8, 9.6.4
Kalksteinmehl 1.1, 4.3, 12.8.3
Kaltstall 12.12
Karbonatisierung . . . . . .6.2.1.2, 6.3.2 , 6.3.3, 11.2.8
Klinkerphasen 1.1

Kompositzement 1.2, 1.4
Konformitätskriterien 7.2.2, 10.8.3
Konformitätsprüfung 6.4.1, 7.2, 11.3
Konformitätsnachweis 7
Konsistenzklassen 2.7.3, 6.2.2, 12.9
Kornrohdichte 2.1, 2.4, 2.6
Korrosionswiderstand 4.5
Kriechen . . . . . 9.6.2 , 9.6.4, 9.6.5, 12.4.1
Kunststoffdispersion 4.5
Kunststofffasern (Polymerfasern) 4.6
k-Wert, Gesteinskörnung 2.7.2, 2.7.3
k-Wert-Ansatz 4.1.1, 4.2.1

L

Lagerung, Probekörper . . . . . 6.2.3 , 9.6.1, 9.6.4, 11.2.1, 11.2.2, 11.2.7
Lagerung, Zement 1.6, 1.7
Latent-hydraulisch 1.1, 4
Leichtbeton 2.3, 3.11, 6.1, 6.2.3, 6.2.5, 9.6.4, 9.7, 11.3.2, 12.14
Leichtbeton, Druckfestigkeit 6.2.3, 9.7
Leichtgewichtige organische Verunreinigungen 2.2
Leichtmauermörtel 16.2, 16.4
Leichtverarbeitbarer Beton (LVB) 12.9
Leimgehalt 12.9.2, 12.10.3
Leistungserklärung 1.8
L-Zement 1.2.3
LH-Zement 1.2.1, 12.3.2
Lieferung von Beton 6.1, 6.3.7
LP-Beton 6.4, 8.2.1, 12.3.2, 12.10.2, 13.1.4
Luftgehalt 6.3.2, 6.3.5, 11.1.4, 12.3.2, 12.10.2, 13.1.4, 13.3.4
Luftporenbildner 3.4, 6.3.5, 10.1
Luftporenkennwerte 13.1.4, 13.3.4

M

Mahlfeinheit von Zement 1.5.5, 1.5.7
Massige Bauteile 2.5.1, 6.2.3, 12.3, 13.2.4
Mauermörtel 16
Median 20.2
Mehlkorngehalt 6.1, 6.3.4, 12.7.2, 12.10.2
Mindestbauteildicken . . . . . 12.4.4, 12.4.5 , 12.12.1
Mindestbetondeckung 10.1

Mindestdruckfestigkeitsklasse von Beton. . . .6.3.2, 9.1, 12.3.2, 12.4.4, 12.6.7, 12.7.3, 13.1.3
Mindestluftgehalt. 6.3.2, 6.3.5, 10.1, 12.3.2, 13.1.4, 13.3.4
Mindestzementgehalt 4.1.1, 4.2.1, 6.3.2, 6.2.8, 6.4.4, 9.1.2, 12.3.2, 12.4.4, 12.5.3, 12.7.3, 12.8.3, 13.1.3, 13.2.4
Mischungsstabilität von Beton 13.2.6
Mörtel (Mauermörtel). 16
Muschelschalengehalt. 2.2

N

Na_2O-Äquivalent 1.3.1, 2.5, 4.1, 5.1, 12.8.3, 13.3.2
Nachbehandlung. 6.3.8, 10.7, 12.12.4, 13.1.5, 13.2.5, 13.2.7, 13.3.5,15.5
Nachbehandlung, Dauer 10.7.3, 12.3.4, 12.7.3, 12.11.2, 13.1.5, 13.2.7, 13.3.5, 15.5
Nachbehandlung, Mittel 13.1.5, 13.3.5
Nassspriẗzbeton 12.8.3
Nassspriẗzverfahren. 12.8.2
(na)-Zement 1.3.1, 2.5
Nebenbestandteil von Zement 1.1, 1.2, 1.4
Normalbeton . . . . . 6.1 , 8.2.1, 9.6, 11.2.2, 11.2.11
Normalmauermörtel. 16
Normalzement 1, 1.2
Nutzungsklasse 12.4.3

O

Oberflächenverzögerer 13.4.2
Offenporiger Beton 12.13
Ökobilanz. 14
Ölschiefer 1.1, 13.3.2
Ortbeton . . . . . 6.1 , 10.1, 12.4.5, 12.7.1

P

Parkdeck 9.1.2
Passivator 3.18
Polycarboxylatether (PCE). 12.2.2, 12.9.1, 12.10.3, 13.1.2, 13.2.2, 13.2.6
Pigmente 4, 4.4
Polierwiderstand . . . . . .2.2 , 12.13.4, 13.3.2
Polymerfasern 4.6, 12.13.5
Porenleichtbeton 3.15, 12.14

Portlandkompositzement 1.2
Portlandzementklinker 1.1, 1.2, 1.7
Produktionskontrolle 8, 15.4
Prüfen von Beton 1
Prüfhäufigkeit 7.2.3, 10.8
Prüfung, Ausbreitmaß 6.2.2, 11.1.2
Prüfung, Ausziehkraft 11.3.1
Prüfung, Beton in Bauwerken 11.3
Prüfung, Biegezugfestigkeit 11.2.3
Prüfung, Dichte von Festbeton 1.2.5
Prüfung, Druckfestigkeit 1.2.2
Prüfung, E-Modul 11.2.10
Prüfung, Festbeton 11.2
Prüfung, Frischbeton 11.1
Prüfung, Frischbetonrohdichte 1.1.3
Prüfung, Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand 11.2.7
Prüfung, Karbonatisierungswiderstand 1.2.8
Prüfung, Konsistenz 11.1.2
Prüfung, Luftgehalt 11.1.4
Prüfung, Rückprallzahl – Rückprallhammer 11.3
Prüfung, Setzmaß 1.1.2
Prüfung, Setzzeit 1.1.2
Prüfung, Spaltzugfestigkeit 11.2.4
Prüfung, Ultraschallgeschwindigkeit 11.3
Prüfung, Vebe-Zeit 11.1.2
Prüfung, Verdichtungsmaß 11.1.2
Prüfung, Wassereindringwiderstand 11.2.6
Prüfung, zerstörungsfrei 11.3
Puzzolan 1.1, 1.2, 1.4, 4
Puzzolanzement . . . . . 1.2 , 1.4, 1.5.4, 1.5.5

Q

Quellen von Beton 6.1, 9.6.5

R

Raumbeständigkeit 1.5.3
Recyclinghilfe für Restbeton 3.19
Referenzbeton 7.4.1
Restbeton 5.2
Restmörtel 5.2

Restwasser 5, 5.2, 6.3.2, 12.1.1, 12.11.2, 13.2.2
Rezeptmauermörtel 16
Rohdichte von Beton 6.1
Rohdichte von Leichtbeton 6.1, 6.2.5
Rohdichteklassen 6.2.5
Rückprall von Spritzbeton 4.1, 12.8
Rückprallzahl, Rückprallhammer 11.3
Rundungsgenauigkeit von Prüfergebnissen 11.2.11, 11.2.7

S

Sammelprobe 11.1.1
Schaumbeton 6, 12.14
Schaumbildner 3.15
Schiefer, gebrannter 1.1, 1.2
Schnellbeton 13.4
Schrumpfen 9.6.1
Schüttdichte von Zement 1.5.6
Schüttdichte von Gesteinskörnungen 2.1, 2.3, 2.6
Schüttdichte von Betonzusatzstoffen, Fasern 4.1, 4.3
Schwerbeton . . . . . .6.1 , 6.2.3, 7
Schwinden von Beton 9.6.1, 9.6.5
Sedimentationsreduzierer 3.13
Sedimentationsstabilität . . . . . 3.13 , 12.10, 13.2.6
Sekantenmodul 11.2.10
Selbstverdichtender Beton (SVB) 3.12, 3.13, 12.9
Setzfließmaß 12.10.2
Setzmaß-Klassen 6.2.2, 11.1.2
Setzzeit-Klassen 6.2.2
Sicherheitshinweise für Zement 1.7
Sichtbeton 3.11, 12.1, 12.9.4, 13.1.4
Sickersaftbehälter 12.12.3
Sieblinien 2.7.1, 6.3.1, 12.2.2, 12.8.3
Silika-Suspension . . . . . .4.1, 12.2.2 , 13.1.2
Silikastaub 1.1, 1.2, 1.4, 4, 4.1, 4.2.1, 12.2.2, 12.3.2, 13.1.2
Sonderzemente . . . . . .1.4, 1.5.1, 1.5.2 , 6.3.3, 12.3.2
Spaltzugfestigkeit 11.2.4, 11.2.12, 13.2.6
Spannbeton 3.10, 3.20, 4.6, 5.1, 6.3.6
Spritzbeton 3.9, 3.20, 4.1, 12.8
Spritzbeton, Beschleuniger 3.9, 12.8.3

Spritzbeton, Nasssprizverfahren 12.8.2
Spritzbeton, Rückprall 4.1, 12.8
Spritzbeton, Trockenspritzverfahren 12.8.2
Spritzbeton, Zement 12.8.3
SR-Zement 1.2.2, 6.3.3, 13.1.3
Stabilisierer 3.11
Stahlfaserbeton 12.6
Stahlfasern 4.6, 12.6, 12.11
Standardabweichung 20.1
Standardbeton 6.1, 6.4.1, 6.4.4, 7.3, 8.1, 10.8.4
Stallböden 12.12
Statistik 20
Statistikbeiwerte für Bauwerksprüfung 11.3.1
Steinkohlenflugasche 4.1
Stetige Herstellung 7.1, 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3, 7.2.5.2, 7.2.5.4
Stichprobe 10.8.2, 11.1.1, 11.1.2
Stoffraumrechnung 3.20, 4, 9.3, 12.6.5
Sulfatwiderstand 1.2.2, 4.1.4, 4.2.3, 6.3.2, 6.3.3, 13.1.3

T

Temperatur, Frischbeton 6.3.7, 8.1, 9.4, 10.3, 10.7.3, 12.3.4, 13.2.5, 13.4.2
Temperatur, Festbeton 9.5, 10.4, 10.5, 10.7.3
Temperatur, Risse 9.5, 12.11.3, 12.3.4
Temperaturdehnung 9.6.3
Temperaturentwicklung 9.5, 12.3.3, 12.3.4
TL BEB-StB 13.4
TL Beton-StB 13.3
TP Beton-StB 13.3
Tonerdezement 1.9
Transformationsmethode 7.2.4.1, 7.2.4.2, 7.2.5.3, 7.2.5.4
Transportbeton 6.1
Trass 1.1, 4, 4.3
Trinkwasserbehälter 12.7
Trockenspritzverfahren 12.8.2
Tunnel 12.8.3, 12.8.4, 13.1.3, 13.1.4

U

Überwachung durch Bauunternehmen 10.8
Überwachungsklassen 6.2.3, 10.8, 12.5.4, 12.6.6, 12.7.3

Umgebungsbedingungen 6.1.1, 6.2.1
Umrechnung von Würfel-Druckfestigkeiten 7.2.4.1, 11.2.2
Umwelt-Produktdeklaration (EPD). 14
Unterwasserbeton 3.11, 4.1.2, 4.2.2, 6.3.8, 10.8.1, 12.5.3
V
Vebe-Zeit 6.2.2, 11.1.2
Verarbeitbarkeit von Beton 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.6, 3.20, 4.3, 10.7.3, 12.1.1, 12.5.2, 12.6.2
Verdichtungsmaßklassen 6.2.2, 11.1.2
Verfärbungen von Beton 12.1.2, 12.1.3
Verfasser der Festlegung. 6.4.1, 8.1, 9.1.1
Verformung, elastische 9.6.4, 9.6.5, 11.2.10
Verschleiß von Beton. 6.2.1.1, 6.2.1.7, 6.3.2, 6.3.3, 10.1, 15.2
Verschleißwiderstand von Gesteinskörnungen 2.2
Verwender von Beton 6.1, 6.2, 6.2.3, 6.3.7, 6.4.1
Verzögerer 3.3, 3.6, 3.20, 7.2.4, 12.2.2, 12.3.2, 12.5.2
Viskositätsmodifizierer 3.12
VLH-Zement . . . . . .1.4 , 6.3.3, 12.3.2
W
Walz-Kurven 9.2
Wärmeentwicklung 3.6, 9.5, 12.3.3
Warmstall. 12.12
Waschbeton 13.3
Wasser für Beton. 5
Wasseranspruch 2.7.3, 3.1, 3.2, 3.10, 12.2.2, 13.3.2
Wasseraufnahme von Beton 3.5, 3.17
Wasseraufnahme von Gesteinskörnungen 2.3, 2.4
Wasserbauwerk. 6.2.1.7, 13 2
Wassereindringwiderstand . . 2.4.3, 3.1, 3.5, 6.3.8, 10.8.1, 12.4, 13.2.6
Wassergefährdende Stoffe, Betonbau 12.11, 12.12.3
Wassergehalt, wirksamer 6.1
Wasserundurchlässige Bauwerke 12.4
Wasserzementwert 3.1, 3.2, 3.20, 6.1, 9.2
Wasserzementwert, äquivalenter 4.1.1, 4.1.2, 4.2.1, 6.1
Wasserzugabe. 6.3.7, 10.2, 13.1.4, 13.2.5
Werkmauermörtel 16

Z

Zement 1
Zement mit besonderen Eigenschaften. 1.3
Zement mit organischen Bestandteilen. 1.3.3
Zement, Anwendungsbereiche 6.3.3
Zement, Dichte 1.5.6
Zement, Erstarren 1.3.2, 1.5.2, 1.9, 3.3, 3.6, 3.8, 3.9, 10.5
Zement, Farbe 1.5.5
Zement, Festigkeitsklasse 1.4, 1.5.1
Zement, Hauptbestandteile 1.1, 1.2, 1.4
Zement, Nebenbestandteile 1.1, 1.2, 1.4
Zement, Normbezeichnung 1.2.4, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 1.4
Zement, Rohstoff. 1.1
Zement, Schüttdichte 1.5.6
Zement, Zusätze 1.1
Zementklinker 1.1
Zementmörtel für Fugen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 . . . . . .6.3.8
ZTV BEB-StB. 13.4
ZTV Beton-StB 13.3
ZTV-ING, Massivbau 12.8.3, 13.1
ZTV-W 13.2
Zugabewasser. 5, 9.4, 12.8.2, 12.13.4, 13.1.1, 13.2.2, 13.3.2
Zugfestigkeit 11.2.12, 12.6.4, 12.6.7
Zusatzmittel. 3
Zusatzstoff. 4

Anhang 1: Regelwerke für den Betonstraßenbau

Die Regelwerke für den Verkehrswegebau werden von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) in 4 Kategorien mit abgestufter Bedeutung herausgegeben. Sie unterliegen folgender Systematik:

Kategorie		Beschreibung	Charakter der Regelung

Regelwerke „R“	1	■ R 1-Regelwerke: Vertragsgrundlagen und Richtlinien
		  ■ ZTV: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen
		  ■ TL: Technische Lieferbedingungen
		  ■ TP: Technische Prüfvorschriften
		  ■ Richtlinien (müssen als Vertragsgrundlage vereinbart werden)
		■ R 1-Regelwerke gelten als anerkannte Regeln der Technik
		■ Bekanntgabe / Einführung durch BMVI [1]
			■ ZTV, TL, TP: Anforderungen
			■ Richtlinien: Regelfälle, Empfehlungen

	2	■ R 2-Regelwerke: Empfehlungen und Merkblätter [2] ■ zur Anwendung als Stand der Wissenschaft und Technik empfohlen ■ Veröffentlichung, fallweise Bekanntgabe durch BMVI [1]	Empfehlungen
Wissensdokumente „W“	1	■ W 1-Veröffentlichungen: Hinweise und ggf. Arbeitsanleitungen ■ aktueller Stand des Wissens innerhalb der zuständigen FGSV-Gremien ■ Veröffentlichung	Möglichkeiten
	2	■ W 2-Veröffentlichungen: Arbeitspapiere zur Information sowie Arbeitshilfen nach Auffassung eines FGSV-Gremiums ■ Veröffentlichung	Möglichkeiten

[1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
[2] Merkblätter sind nicht Vertragsgrundlage oder Richtlinie. Sie können jedoch auszugsweise oder umgestaltet als Vertragsbestandteil von Bau-, Liefer- und Ingenieurverträgen verwendet werden.

Anhang 2: Hinweise zur Verwendung von Betonzusatzmitteln

Anwendungsbereiche von Sika Betonzusatzmitteln

Zusatzmittel / Zusatzstoffe	Betonverflüssiger	Fließmittel				
Anwendungsbereich	BV 1 M/BV 3M	Sika® ViscoCrete®-1020 X	Sika® ViscoCrete®-1035	Sika® ViscoCrete®-1040	Sika® ViscoCrete®-1050	
Beton mit verlängerter Verarbeitungszeit		●	●		●	
Beton mit Regelkonsistenz /F3	●	●				
Beton mit Fließmittel - Transportbeton		●	●	●	●	
Beton mit Fließmittel - Fertigteile						
Selbstverdichtender Beton			●		●	
Frühhochfester Beton				●		
Hochfester Beton			●		●	
Massenbeton	●	●	●		●	
Beton im Kontakt mit Trinkwasser (KTW/DVGW)	●	●		●		
Beton nach ZTV ING	●	●	●	●	●	
Unterwasserbeton		●				
Flüssigkeitsdichter Beton (FD-/FDE-Beton)		●	●	●	●	
Wasserundurchlässiger Beton	●	●	●	●	●	
Frostwiderstand / XF1, XF3	●	●	●	●	●	
Frost-/Taumittelwiderstand / XF2, XF4	●	●	●	●	●	
Straßenbeton	●					
Betonieren bei hohen Temperaturen	●	●	●		●	
Betonieren bei tiefen Temperaturen				●		
Spritzbeton		●		●		
Leichtbeton				●		
Porenleichtbeton/Schaumbeton						
Drainbeton/haufwerksporiger Beton				●		
Sandreicher Beton	●	●		●		
Mehlkornarmer Beton		●				
Estrich	●	●				
Sichtbeton	●	●	●	●	●	

●	●						●		●		●	●	●	●		●	●	●					●	●	●	Sika® ViscoCrete®-1051	
●								●			●	●	●	●		●		●		●			●		●	Sika® ViscoCrete®-1053	
●									●		●	●	●	●		●	●	●					●	●	●	Sika® ViscoCrete®-1063	
●									●		●	●	●	●		●		●						●	●	Sika® ViscoCrete®-1065	
●									●			●	●	●		●		●					●	●	●	Sika® ViscoCrete®-1070	
							●																		●	Sika® ViscoCrete® SC-400	
●								●			●	●	●			●			●	●	●	●				Sika® ViscoCrete®-20 GOLD	
●								●			●	●	●	●		●			●	●	●	●				Sika® ViscoCrete®-20 HE	
●									●		●	●	●	●		●			●		●	●			●	Sika® ViscoCrete®-20 SL	
●								●				●	●	●		●			●		●	●				Sika® ViscoCrete®-2200 HE	
●								●				●	●	●		●			●	●	●	●				Sika® ViscoCrete®-2620	
●								●				●	●	●		●			●	●	●	●				Sika® ViscoCrete®-2800 Perfin	
●		●		●		●		●			●	●	●		●	●	●					●	●			FM F	
●								●		●	●	●	●	●		●	●					●	●	●		FM 6	
●		●						●				●	●	●		●						●	●			FM 62	
●									●		●	●	●	●		●						●	●			FM 93	
	●	●								●	●	●				●										LPS A-94	**Luftporenbildner**
		●								●	●	●				●	●									LPS V	
●							●			●	●	●	●	●		●					●					SikaAer® Solid	**Mikrohohlkugeln**
					●																					SB 2	**Schaumbildner**
																										DM 2	**Dichtungsmittel**
●	●								●							●	●	●							●	VZ 10	**Verzögerer**
●	●								●									●							●	VZ 2	
●	●								●									●	●						●	VZ 4	
							●																			BE 2	**Spritzbetonbeschleuniger**
							●																			Sigunit-49 AF, -L93 AF	
●		●			●	●										●										ST 3	**Stabilisierer**
●				●		●									●	●					●					UW-Compound 100	
●																●					●					Sika® Stabilizer-4R	**Sedimentationsreduzierer**
●	●																									Sika® Control®-40	**Schwindreduzierer**
				●										●												Sika® Control® E-150/260	**Kunststoffdispersion**
				●			●							●		●			●							Silicoll SL / P unkompaktiert	**Silicastaub**
●	●						●									●										SikaColor FF	**Betonfarben**

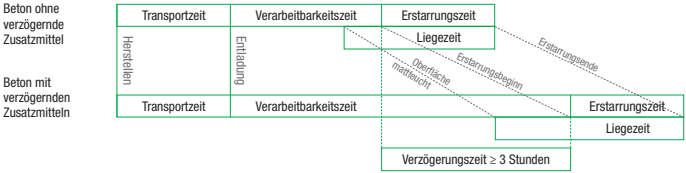
Verzögerter Beton

Wichtige Regelungen der DAfStb-Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit, November 2006

Anwendungsbereich der Richtlinie

- Beton nach DIN 1045 gemäß den Bedingungen für ÜK 2 und ÜK 3
- Konsistenz F2, F3, F4, F5, F6
- Verarbeitbarkeitszeit ≥ 3 h im Vergleich zum Nullbeton

Wichtige Begriffe



Anforderungen

Erstprüfung nach DIN 1045
zusätzlich bei fehlender Erfahrung mit vorgesehener Zement-Zusatzmittel-Kombination

Einflüsse
°C
+10/+30
CEM + VZ

Erweiterte Erstprüfung

- Ansteifen (z. B. nach 10, 45 und 60 min)
- Verarbeitbarkeitszeit
- Erhärtungsverlauf (z. B. 24, 48 und 72 h nach Erstarrungsende)

Überprüfung unter Baustellenbedingungen

- Ansteifen (z. B. nach 10, 45 und 60 min)
- Verarbeitbarkeitszeit

Einflüsse
°C
Baustelle

Herstellung und Verarbeitung

Die Verzögerer-Zugabe darf nur im abgesteckten Rahmen der erweiterten Erstprüfung variiert werden. Bei Verarbeitbarkeitszeit > 12 h ist die Verzögerer-Zugabe in das Transportbeton-Fahrzeug auf der Baustelle unter definierten Bedingungen möglich. Dabei ist unter anderem zu beachten:

Zugabezeitpunkt spätestens 90 min nach Mischen des Ausgangsbetons

min. Zugabemenge	≥ 5 cm³/kg Zement	F2	Konsistenz
	≥ 3 cm³/kg Zement	F3 und F4/5	
min. Mischzeit	≥ 5 min	≤ 6 m³	Mischerinhalt
	≥ 10 min	> 6 m³	

Übergabe
Achtung! Die Verantwortung für den Beton geht auf den Abnehmer über, sobald dieser den Verzögerer dem Ausgangsbeton im Fahrmischer zugibt.

Nachbehandlung

Frühe und langandauernde Nachbehandlungsmaßnahmen zum Schutz gegen vorzeitiges Austrocknen und niedrige Temperaturen sind bei verzögertem Beton besonders wichtig und schriftlich festzulegen. Zu beachten ist die Richtlinie zur Nachbehandlung von Beton.

© Sika

In Dosieranlagen nicht vermischbare Zusatzmittel von Sika

Bestimmte Sika Betonzusatzmittel können auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung bei Vermischungen zu Ausfällungen bzw. Verklumpungen führen. In diesem Fall ist entweder

- mit getrennten Dosieranlagen zu arbeiten oder
- bei nur einem Dosierzylinder mit Wasser zwischenzuspülen.

		LPS V LPS VC	LPS A-94	VZ 10 VZ 2 VZ 51
Betonverflüssiger	**BV 1M, BV 3M**	X		X
Fließmittel	**ViscoCrete-1020 X**	X		X
	ViscoCrete-1035	X		X
	ViscoCrete-1040	X		X
	ViscoCrete-1050, -1051, -1052	X		X
	ViscoCrete-1053	X		X
	ViscoCrete-1063	X	X	X
	ViscoCrete-1065	X		X
	ViscoCrete-1070	X		X
	ViscoCrete-20 HE	X		X
	ViscoCrete-20 SL	X		X
	ViscoCrete-2200 HE	X		X
	ViscoCrete-2620	X		X
	ViscoCrete-2800 Perfin	X		X
	ViscoCrete-2900 Perfin	X		X
	FM 93, FM 95	X	X	X
Verzögerer	**VZ10, VZ 4, VZ51**	X		

X nicht mischbar

HeidelbergCement AG
Verkauf Deutschland
Berliner Straße 6 · 69120 Heidelberg
Telefon 06221 481-39474 · Telefax 06221 481-39489
E-Mail verkauf@heidelbergcement.com

Engineering & Innovation
Oberklamweg 6 · 69181 Leimen · Telefax 06221 481-13757

Der Geschäftsbereich Zement/Deutschland der HeidelbergCement AG ist zertifiziert nach DIN EN ISO 9001, 14001 und 50001 - Reg Nr. 38227 SQS

Vertriebsregion Süd-West
Zementwerk 1/1 · 89601 Schelklingen
Tel. 07394 241-384 · Fax 07394 241-386
E-Mail vertriebsuedwest@heidelbergcement.com

Vertriebsregion Süd-Ost
Schmidmühlener Straße 30 · 93133 Burglengenfeld
Tel. 09471 707-53377 · Fax 09471 707-53397
E-Mail vertriebsuedost@heidelbergcement.com

Vertriebsregion Nord
Zur Anneliese 7 · 59320 Ennigerloh
Tel. 02524 2951-281 · Fax 02524 2951-288
E-Mail vertriebnord@heidelbergcement.com

Konzerthaus Blaibach, Blaibach;
Peter Haimerl Architektur, München

Titelmotiv: Museum Georg Schäfer, Schweinfurt
Architekt: Staab Architekten GmbH, Berlin

Dieser Leitfaden ist lediglich als allgemeine Information ohne Garantie auf Vollständigkeit und Richtigkeit zu verstehen. Die in diesem Leitfaden enthaltenen Angaben, Abbildungen, Hinweise und Empfehlungen wurden mit der gebotenen Sorgfalt erstellt und sorgfältig recherchiert. Dennoch ersetzt der Leitfaden unter keinen Umständen eine individuelle Beratung durch die HeidelbergCement AG. Soweit gesetzlich zulässig, ist jede Gewährleistung und Haftung ausgeschlossen.

Der vorliegende Leitfaden einschließlich aller darin enthaltenen Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt und Eigentum der HeidelbergCement AG. Verwertungen sind ohne Zustimmung der HeidelbergCement AG nicht zulässig. Dies gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgeber:
HeidelbergCement AG
Engineering & Innovation
Oberklamweg 6
69181 Leimen
Telefax 06221 481-13757

www.heidelbergcement.de

HEIDELBERGCEMENT

0817/33T/SD_1049_2017/abc/Rev.0