

Betontechnische Daten

Ausgabe 2009

inklusive DIN 1045:2008-08



HEIDELBERGCEMENT

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

Anmerkung

- Die in diesem Heft verwendete Bezeichnung DIN EN 206-1 schließt die A2-Änderung DIN EN 206-1/A2 ein.
- Die Bezeichnungen DIN 1045-2 und DIN 1045-3 beziehen sich auf die konsolidierten Fassungen von DIN 1045-2 und DIN 1045-3, Ausgabe August 2008, deren Inhalte in die Betontechnischen Daten eingearbeitet wurden. Wir weisen darauf hin, dass die bauaufsichtliche Einführung dieser Normen erst mit dem Erscheinen der Bauregelliste A Teil 1, Ausgabe 2008/2 erfolgt.
- 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)
- Stand der Regelwerke: Oktober 2008

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
Estrich	14
Mauermörtel	15
Brandschutz nach DIN 4102	16
Auswahl von Normen und Richtlinien	17
Zeichen, Einheiten und Dezimalfaktoren	18
Statistische Auswertung von Prüfwerten	19
Stichwortverzeichnis	20

1	Zement	2	1.9	Auswahl von Normzementen von HeidelbergCement	20
1.1	Begriffe	2	1.10	Spezialbindemittel von HeidelbergCement	24
1.2	Zement nach DIN EN 197	5	2	Gesteinskörnungen für Beton	30
1.2.1	Normalzement nach DIN EN 197-1	5	2.1	Begriffe	30
1.2.2	Hochofenzement mit niedriger Anfangsfestigkeit nach DIN EN 197-4	8	2.2	Anforderungen an Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 und DIN 1045-2	31
1.3	Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164	9	2.2.1	Kategorien	32
1.3.1	Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) nach DIN 1164-10	9	2.2.2	Regelanforderungen	37
1.3.2	Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt (NA-Zemente) nach DIN 1164-10	10	2.2.3	Anforderungen an die Kornzusammensetzung der gebräuchlichsten Korngruppen	38
1.3.3	Zement mit verkürztem Erstarren (FE-Zement und SE-Zement) nach DIN 1164-11	11	2.3	Anforderungen an leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1 und DIN 1045-2	40
1.3.4	Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen (HO-Zement) nach DIN 1164-12	11	2.4	Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100	42
1.4	Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH) nach DIN EN 14216	12	2.4.1	Kategorien	42
1.5	Zementeigenschaften	14	2.4.2	Regelanforderungen	43
1.5.1	Druckfestigkeit	14	2.5	Gesteinskörnungen mit alkalireaktiver Kieselsäure und vorbeugende Maßnahmen	43
1.5.2	Erstarren	14	2.5.1	Feuchtigkeitsklassen und Alkaliempfindlichkeitsklassen	44
1.5.3	Raumbeständigkeit	15	2.5.2	Vorbeugende Maßnahmen	45
1.5.4	Hydratationswärme	15	2.6	Physikalisch-technische Eigenschaften von Gesteinskörnungen	48
1.5.5	Farbe	16	2.7	Betontechnologische Kennwerte von Gesteinskörnungen	49
1.5.6	Dichte und Schüttdichte	16	2.7.1	Kornzusammensetzung – Sieblinien	49
1.5.7	Mahlfeinheit	16	2.7.2	Körnungsziffer (k-Wert) und Durchgangswert (D-Summe)	52
1.6	Einfluss der Lagerung	16	2.7.3	Wasseranspruch	53
1.7	Gesundheitliche Relevanz von Zement	17			
1.8	Tonerdezement	18			
1.8.1	Tonerdezement – Herstellung und Eigenschaften	18			
1.8.2	Tonerdezement (CAC) nach DIN EN 14647	19			

3	Betonzusatzmittel	55
3.1	Betonverflüssiger (BV)	56
3.2	Fließmittel (FM)	56
3.3	Fließmittel/Verzögerer (FM)	58
3.4	Luftporenbildner (LP)	58
3.5	Dichtungsmittel (DM)	58
3.6	Verzögerer (VZ)	59
3.7	Erhärtungsbeschleuniger (BE)	59
3.8	Erstarrungsbeschleuniger (BE)	59
3.9	Erstarrungsbeschleuniger für Spitzbeton (SBE)	60
3.10	Einpresshilfen (EH)	60
3.11	Stabilisierer (ST)	60
3.12	Sedimentationsreduzierer (SR)	61
3.13	Chromatreduzierer (CR)	61
3.14	Schaumbildner (SB)	61
3.15	Elastische Hohlkugeln für Luftporenbeton	61
3.16	Expansionshilfe	62
3.17	Abdichtungsmittel	62
3.18	Passivator	62
3.19	Verwendung von Betonzusatzmitteln	63
3.20	Umgang mit Betonzusatzmitteln	64
4	Betonzusatzstoffe und Fasern	65
4.1	Steinkohlenflugasche und Silikastaub	65
4.1.1	Anrechenbarkeit von Flugasche und Silikastaub	67
4.1.2	Verwendung von Flugasche in Unterwasserbeton	68

4.1.3	Verwendung von Flugasche in Bohrpfählen	68
4.1.4	Verwendung von Flugasche in Beton mit hohem Sulfatwiderstand	68
4.1.5	Verwendung von Flugasche in Beton mit alkaliempfindlichem Zuschlag	68
4.2	Trass und Gesteinsmehle	69
4.3	Farbpigmente	69
4.4	Kunststoffdispersionen	69
4.5	Fasern	70

5	Zugabewasser für Beton	72
5.1	Anforderungen bei Prüfung von Zugabewasser	72
5.2	Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung	73

6	Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2	76
6.1	Begriffe	76
6.2	Klasseneinteilung	78
6.2.1	Expositionsklassen und Feuchtigkeitsklassen	79
6.2.2	Konsistenzklassen	86
6.2.3	Druckfestigkeitsklassen	87
6.2.4	Klassen nach Größtkorn der Gesteinskörnung	89
6.2.5	Rohdichteklassen	90
6.3	Anforderungen an Beton	90
6.3.1	Anforderungen an die Ausgangsstoffe	90
6.3.2	Anforderungen an Beton in Abhängigkeit von den Expositionsklassen	91
6.3.3	Anwendungsbereiche für Normzemente zur Herstellung von Beton	95
6.3.4	Anforderungen an den Mehlkorngesamtgehalt	101

6.3.5	Anforderungen an den Luftgehalt bei Frost- und Frost-Tausalzangriff.	102
6.3.6	Anforderungen an den Chloridgehalt	103
6.3.7	Anforderungen bei Lieferung des Betons.	103
6.3.8	Anforderungen an Betone mit besonderen Eigenschaften	105
6.4	Festlegung von Beton	106
6.4.1	Allgemeines	106
6.4.2	Festlegung von Beton nach Eigenschaften	107
6.4.3	Festlegung von Beton nach Zusammensetzung	107
6.4.4	Festlegung von Standardbeton.	108

7 Konformitätskontrolle nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 109

7.1	Begriffe	110
7.2	Konformitätskontrolle für Beton nach Eigenschaften für die Druckfestigkeit ...	110
7.2.1	Verfahren der Konformitätskontrolle.	112
7.2.2	Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit	112
7.2.3	Probenahme- und Prüfplan.	114
7.2.4	Konformitätsnachweis über Betonfamilien	115
7.2.5	Beispiele für die Durchführung des Konformitätsnachweises	119
7.3	Konformitätskontrolle für Beton nach Zusammensetzung einschließlich Standardbeton	125

8 Produktionskontrolle..... 126

8.1	Erstprüfung	126
8.2	Herstellen des Betons	127
8.2.1	Mischen des Betons	127
8.2.2	Variationsbereiche der Betonzusammensetzung.	127

9 Betontechnologie 128

9.1	Betonentwurf	128
9.1.1	Beispiele zur Anwendung der Expositionsklassen	128
9.1.2	Beispiele zur Festlegung der Grenzwerte für die Betonzusammensetzung.	130
9.2	Walz-Kurven	131
9.3	Stoffraumrechnung	133
9.4	Ermittlung der Frischbetontemperatur	135
9.5	Ermittlung der Festbetontemperatur	137
9.6	Formänderungen	139
9.6.1	Schwinden und Quellen.	139
9.6.2	Kriechen	141
9.6.3	Temperaturdehnung.	141
9.6.4	Elastische Verformung	142
9.6.5	Abschätzung der Formänderung von Beton	143
9.7	Abschätzung von Leichtbetondruckfestigkeiten	144

10 Bauausführung..... 145

10.1	Betonausführung	145
10.1.1	Betondeckung der Bewehrung nach DIN 1045-1	145
10.1.2	Fördern und Verarbeiten des Betons nach DIN 1045-3	147
10.2	Frischbetontemperatur	148
10.3	Gefrierbeständigkeit	148
10.4	Festigkeitsentwicklung in Abhängigkeit von der Betontemperatur	149
10.5	Ausschalfristen	150

10.6	Nachbehandlung und Schutz des Betons	150	11.2.10	Rundungsgenauigkeit von Prüfergebnissen	165
10.6.1	Allgemeines	150	11.2.11	Zusammenhang zwischen Druck-, Biegezug-, Spaltzug- und Zugfestigkeit	166
10.6.2	Nachbehandlungsverfahren	150	11.3	Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen	167
10.6.3	Nachbehandlungsdauer	151	11.3.1	Bestimmung der Bauwerksdruckfestigkeit	167
10.7	Überwachungsprüfungen durch das ausführende Bauunternehmen	152	11.3.2	Beurteilung des Betons bei negativen Konformitätsprüfungen	170
10.7.1	Überwachungsklassen für Beton	153	12	Betonanwendungen	174
10.7.2	Überwachung von Beton nach Eigenschaften	154	12.1	Sichtbeton	174
10.7.3	Überwachung von Beton nach Zusammensetzung	155	12.1.1	Zusammensetzung	174
10.7.4	Häufigkeit der Prüfungen an Standardbeton	156	12.1.2	Herstellung von Sichtbetonflächen	175
10.7.5	Andere Betoneigenschaften	156	12.1.3	Optische Anforderungen und Beurteilungskriterien	178
11	Prüfen von Beton	157	12.1.4	Anwendung	180
11.1	Prüfen von Frischbeton	158	12.2	Hochfester Beton	180
11.1.1	Probenahme	158	12.2.1	Regelwerk	180
11.1.2	Konsistenz	158	12.2.2	Zusammensetzung	181
11.1.3	Frischbetonrohddichte	160	12.2.3	Anwendung	182
11.1.4	Luftgehalt	161	12.3	Massige Bauteile aus Beton	183
11.2	Prüfen von Festbeton	161	12.3.1	Regelwerk	183
11.2.1	Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen	161	12.3.2	Zusammensetzung	183
11.2.2	Prüfung der Druckfestigkeit	162	12.3.3	Temperaturentwicklung	185
11.2.3	Prüfung der Biegezugfestigkeit	163	12.3.4	Herstellung	186
11.2.4	Prüfung der Spaltzugfestigkeit	163	12.4	Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton	187
11.2.5	Prüfung der Dichte von Festbeton	164	12.4.1	Regelwerk	187
11.2.6	Prüfung der Wassereindringtiefe unter Druck	164	12.4.2	Beanspruchungsklassen	187
11.2.7	Prüfung der Druckfestigkeit von Bohrkernproben	164	12.4.3	Nutzungsklassen	188
11.2.8	Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung nach DIN CEN/TS 12390-9 Vornorm	164	12.4.4	Anforderungen an den Beton	188
11.2.9	Bestimmung des relativen Karbonatisierungs- widerstandes von Beton	165	12.4.5	Empfohlene Mindestbauteildicken	189

12.5	Bohrpfahlbeton	189	12.11	Dränbeton	202
12.5.1	Regelwerk	189	12.11.1	Eigenschaften	203
12.5.2	Zusammensetzung	189	12.11.2	Anwendung	203
12.5.3	Anforderungen an den Beton	190	12.11.3	Anwendung im Straßenbau	203
12.6	Stahlfaserbeton	191	12.12	Schaumbeton-Porenleichtbeton	204
12.6.1	Fasern	192	12.12.1	Herstellung	204
12.6.2	Zusammensetzung	192	12.12.2	Eigenschaften	205
12.6.3	Herstellung	193	12.12.3	Anwendung	206
12.6.4	Eigenschaften	193			
12.6.5	Anwendungen	194	13	Zusätzliche Technische	
12.7	Spritzbeton	194		Vertragsbedingungen ZTV	207
12.7.1	Herstellung	195	13.1	ZTV-ING für Ingenieurbauten: Teil 3, Massivbau	207
12.7.2	Zusammensetzung der Grundmischung (Bereitstellungsgemisch)	195	13.1.1	Anforderungen an die Ausgangsstoffe von Beton	207
12.7.3	Anwendung	197	13.1.2	Anforderungen an die Betonzusammensetzung	208
12.8	Leichtverarbeitbarer Beton (LVB)	197	13.1.3	Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen	208
12.8.1	Zusammensetzung	197	13.1.4	Anforderungen an den Frisch- und Festbeton	211
12.8.2	Anwendung	198	13.1.5	Nachbehandlung	212
12.9	Selbstverdichtender Beton (SVB)	198	13.2	TL Beton-StB 07, ZTV Beton-StB 07, TP Beton-StB 08 – Regelwerke für den Betonstraßenbau	212
12.9.1	Regelwerk	198	13.2.1	Expositionsklassen	213
12.9.2	Anforderungen an SVB nach Richtlinie	198	13.2.2	Anforderungen an die Ausgangsstoffe	214
12.9.3	Zusammensetzung	199	13.2.3	Anforderungen an die Betonzusammensetzung	216
12.9.4	Anwendung	199	13.2.4	Anforderungen an den Frisch- und Festbeton	217
12.10	Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	200	13.2.5	Schutz und Nachbehandlung	217
12.10.1	Bemessungsgrundlage	200	13.3	ZTV-W für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton	217
12.10.2	Zusammensetzung des Betons	201	13.3.1	Expositionsklassen	218
12.10.3	Ausführung	202	13.3.2	Anforderungen an die Ausgangsstoffe	219
12.10.4	Prüfung der Eindringtiefe	202			

13.3.3	Anforderungen an die Betonzusammensetzung	220
13.3.4	Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen	221
13.3.5	Anforderungen an den Frisch- und Festbeton	222
13.3.6	Eignungsprüfung	223
13.3.7	Nachbehandlung	224
14	Estrich.	225
14.1	Estricharten.	225
14.2	Klassifizierung	226
14.3	Mindestanforderungen in Abhängigkeit von der Ausführungsart	227
14.4	Konformitätskontrolle	228
14.5	Ausführung	229
15	Mauermörtel.	230
15.1	Regelwerk	230
15.2	Begriffe	230
15.3	Anforderungen an die Ausgangsstoffe.	231
15.4	Anforderungen an Mauermörtel nach Eignungsprüfung.	232
15.5	Verwendung von Mauermörtel ohne Eignungsprüfung (Rezeptmörtel)	235
16	Brandschutz nach DIN 4102	236
16.1	Baustoffklassen	236
16.2	Feuerwiderstandsklassen F von Bauteilen	237

17	Auswahl von Normen und Richtlinien	240
17.1	Zement, Bindemittel.	240
17.2	Gesteinskörnungen	241
17.3	Zusatzmittel	242
17.4	Zusatzstoffe	243
17.5	Zugabewasser	244
17.6	Beton	244
17.7	Estrich	247
17.8	Mauermörtel	248
17.9	Weitere Normen	249
17.10	Regelwerke im Verkehrswegebau	251
17.11	Richtlinien des DAfStb	252
17.12	Merkblätter	252
18	Zeichen, Einheiten und Dezimalfaktoren.	254
19	Statistische Auswertung von Prüfwerten	256
19.1	Arithmetischer Mittelwert	256
19.2	Median	257
20	Stichwortverzeichnis.	259

1 Zement

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel. Das heißt, dass Zement nach dem Anmachen mit Wasser sowohl an der Luft als auch unter Wasser erhärtet. Nach dem Erhärten bleibt er auch unter Wasser fest und raumbeständig.

Tabelle 1.a: Übersicht der geltenden Zementnormen

Norm	Inhalt	Zementarten	Festigkeitsklassen	Besondere Eigenschaften	BTD-Kapitel
DIN EN 197-1	Normalzement inkl. Normalzement mit niedriger Hydratationswärme	CEM I bis CEM V	32,5 N und R 42,5 N und R 52,5 N und R	Optional: LH (≤ 270 J/g)	1.2.1
DIN EN 197-4	Hochofenzement mit niedriger Anfangsfestigkeit	CEM III	32,5 L 42,5 L 52,5 L	Optional: LH (≤ 270 J/g)	1.2.2
DIN 1164-10	Normalzement mit besonderen Eigenschaften ■ hoher Sulfatwiderstand ■ niedriger wirksamer Alkaligehalt	CEM I bis CEM V	32,5 N und R 42,5 N und R 52,5 N und R	HS NA	1.3.1 1.3.2
DIN 1164-11	Zement mit verkürztem Erstarren			FE SE	1.3.3
DIN 1164-12	Zement mit erhöhtem Anteil an organischen Bestandteilen			HO	1.3.4
DIN EN 14216	Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme	VLH III VLH IV VLH V	22,5	≤ 220 J/g	1.4
DIN EN 14647	Tonerdezement	CAC	18 (6h) + 40 (24h)	-	1.8

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 Zementes, dessen Anteil mehr als 5 % der Gesamtsumme aller Haupt- und Nebenbestandteile beträgt (vgl. Tabelle 1.2.1.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 % 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 ₂ O ₃	A
Ton, Eisenerz	Fe ₂ O ₃	F

Bei der Sinterung entstehen im Wesentlichen die vier Klinkerphasen:

- Tricalciumsilicat (Alit) C₃S
- Dicalciumsilicat (Belit) C₂S
- Tricalciumaluminat C₃A
- Calciumaluminatferrit C₄AF

Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke) (S)

Hüttensand entsteht durch schnelles Abkühlen einer bei der Roh-eisenherstellung gebildeten Schlackenschmelze. In fein gemahlenem Zustand ist er ein latent-hydraulischer Stoff, der zum hydraulischen Erhärten einen Anreger braucht.

Puzzolane (P, Q)

Puzzolane sind natürliche Gesteine, die reaktives Siliciumdioxid (SiO₂) 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 latent-hydraulische und/oder puzzolanische Eigenschaften.

Gebannter Schiefer (T)

Bei ca. 800 °C gebrannter Schiefer, insbesondere gebrannter Ölschiefer, weist in feingemahlenem Zustand ausgeprägte hydraulische Eigenschaften wie Portlandzement 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: $\text{TOC} \leq 0,20$ M.-%
 - L: $\text{TOC} \leq 0,50$ 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 % 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 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Halbhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) oder Anhydrit (CaSO_4) oder als Mischung davon zugegeben werden.

Tonerdezementklinker

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

1.2 Zement nach DIN EN 197

1.2.1 Normalzement nach DIN EN 197-1

DIN EN 197-1 regelt die Normalzemente einschließlich den Normalzementen mit niedriger Hydratationswärme (LH). Die Hydratationswärme eines LH-Zementes darf den charakteristischen Wert von 270 J/g nicht überschreiten (siehe Tabelle 1.2.1 auf Seite 6).

Tabelle 1.2.1.a: Zusammensetzung der 27 Normalzemente nach DIN EN 197-1

Hauptzementarten	Bezeichnung der 27 Normalzemente		Hauptbestandteile [M.-%] ¹⁾											Nebenbestandteile [M.-%] ¹⁾			
			Portlandzementklinker	Hütten-sand	Silica-staub	Puzzolane		Puzzolane			Flugasche	gebrannter Schiefer	Kalkstein				
						natürlich		natürlich getempert	kiesel-säure-reich	kalk-reich			T		L	LL	
K	S	D ²⁾	P	Q	V	W	T	L	LL								
CEM I	Portlandzement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
CEM II	Portlandsilica-staubzement	CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
	Portlandpuzzolan-zement	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
	Portlandpuzzolan-zement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		Portlandflug-aschezement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
			CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/A-W		80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
	CEM II/B-W		65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland-schieferzement	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
		Portlandkalk-steinzement	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
			CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	CEM II/A-LL		80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
	CEM II/B-LL		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	Portlandkom-positzement ³⁾	CEM II/A-M	80-94	← 6-20 →									-	-	-	0-5	
		CEM II/B-M	65-79	← 21-35 →									-	-	-	0-5	
	CEM III	Hochofen-zement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
			CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM III/C			5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Puzzolan-zement ³⁾	CEM IV/A	65-89	-	← 11-35 →					-	-	-	-	0-5			
		CEM IV/B	45-64	-	← 36-55 →					-	-	-	-	0-5			
CEM V	Komposit-zement ³⁾	CEM V/A	40-64	18-30	-	← 18-30 →			-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM V/B	20-38	31-50	-	← 31-50 →			-	-	-	-	-	-	0-5		

¹⁾ Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf die Summe der Haupt- und Nebenbestandteile.

²⁾ Der Anteil von Silicastaub ist auf 10 % begrenzt.

³⁾ In den Portlandkompositzementen CEM II/A-M und CEM II/B-M, in den Puzzolan-zementen 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.

Normbezeichnung

Zemente nach DIN EN 197-1 werden durch Angabe des Kurzzeichens der Zementart, wie in Tabelle 1.2.1.a festgelegt, sowie durch die Festigkeitsklasse 32,5, 42,5 oder 52,5 gekennzeichnet. Als Hinweis auf die Anfangsfestigkeit ist der Buchstabe N (übliche Anfangsfestigkeit) oder der Buchstabe R (hohe Anfangsfestigkeit) hinzugefügt. Die Bezeichnung von Normalzementen mit niedriger Hydratationswärme erfolgt durch Anhängen von - LH.

- Bezeichnung eines Portlandzementes der Festigkeitsklasse 32,5 mit hoher Anfangsfestigkeit:
Portlandzement EN 197-1 – CEM I 32,5 R
- Bezeichnung eines Portlandkompositzements mit Hüttensand und Kalkstein zwischen 21 und 35 M.-%, mit einem TOC-Gehalt des Kalksteins $\leq 0,20$ M.-% und der Festigkeitsklasse 42,5 mit normaler Anfangsfestigkeit:
Portlandkompositzement EN 197-1 – CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N
- Bezeichnung eines Hochofenzements mit einem Hüttensand-Anteil zwischen 66 und 80 M.-%, der Festigkeitsklasse 32,5 mit normaler Anfangsfestigkeit und niedriger Hydratationswärme:
Hochofenzement EN 197-1 – CEM III/B 32,5 N - LH

1.2.2 Hochofenzement mit niedriger Anfangsfestigkeit nach DIN EN 197-4

Hochofenzemente CEM III/A, B oder C mit niedriger Anfangsfestigkeit nach 2 beziehungsweise 7 Tagen (siehe Tabelle 1.5.1.a) werden mit der Bezeichnung L nach der Festigkeitsklasse gekennzeichnet. Im Übrigen gelten die Anforderungen und Bezeichnungen von DIN EN 197-1.

Normbezeichnung

Bezeichnung eines Hochofenzementes mit einem Massenanteil von Hüttensand zwischen 66 und 80 M.-%, der Festigkeitsklasse 32,5 mit niedriger Anfangsfestigkeit und niedriger Hydratationswärme:

Hochofenzement EN 197-4 – CEM III/B 32,5 L - LH

1.3 Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164

Es gelten die Anforderungen von DIN EN 197 sowie zusätzliche beziehungsweise abweichende Anforderungen. Die besonderen Eigenschaften werden durch zusätzliche Bezeichnungen gekennzeichnet.

1.3.1 Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) nach DIN 1164-10

HS-Zemente mit hohem Sulfatwiderstand sind:

- Portlandzement (CEM I) mit höchstens 3 M.-% C_3A und höchstens 5 M.-% Al_2O_3 ; der Gehalt an Tricalciumaluminat wird aus der 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 und CEM III/C

Normbezeichnung

Bezeichnung eines Portlandzementes der Festigkeitsklasse 42,5 mit hoher Anfangsfestigkeit und hohem Sulfatwiderstand:

Portlandzement DIN 1164 – CEM I 42,5 R – HS

1.3.2 Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt (NA-Zemente) nach DIN 1164-10

Zur Vermeidung von betonschädlichen Alkalireaktionen kann es aufgrund der vorhandenen Gesteinskörnungen in einigen Bundesländern erforderlich sein, in bestimmten Anwendungsfällen (s. Kapitel 2.5) bei der Betonherstellung Zemente mit einem niedrigen wirksamen Alkaligehalt (NA-Zemente) zu verwenden. Zur Beurteilung der Zemente wird der Gesamtalkaligehalt, ausgedrückt als Na_2O -Äquivalent, verwendet.

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

$$\text{Na}_2\text{O}\text{-Äquivalent} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \cdot \text{K}_2\text{O}$$

Tabelle 1.3.2.a: Zusätzliche Anforderungen an NA-Zemente

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

¹⁾ Gilt bei Hüttensandgehalt ≤ 49 M.-%.

²⁾ Gilt bei Hüttensandgehalt ≥ 50 M.-%.

Normbezeichnung

Bezeichnung eines Hochofenzements mit einem Massenanteil von Hüttensand zwischen 66 und 80 M.-%, der Festigkeitsklasse 42,5 mit normaler Anfangsfestigkeit sowie niedriger Hydratationswärme, hohem Sulfatwiderstand und niedrigem wirksamen Alkaligehalt nach DIN 1164:

Hochofenzement DIN 1164 – CEM III/B 42,5 N-LH/HS/NA

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

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

Normbezeichnung

Bezeichnung eines Portlandkalksteinzementes mit einem Massenanteil von Kalkstein LL zwischen 6 und 20 M.-%, der Festigkeitsklasse 42,5 mit hoher Anfangsfestigkeit und frühem Erstarren (FE) nach DIN 1164-11:

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

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

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

Normbezeichnung

Bezeichnung eines Portlandkalksteinzementes mit einem Massenanteil von Kalkstein 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 (VLH) nach DIN EN 14216

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 220 J/g nicht überschreiten. Die Prüfung erfolgt entweder nach DIN EN 196-8 über 7 Tage oder nach DIN EN 196-9 über 41 h.

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

Hauptzementarten	Bezeichnung der sechs Sonderzemente		Zusammensetzung [M.-%] ¹⁾								Nebenbestandteile		
			Hauptbestandteile						Puzzolane			Flugasche	
			Portlandzementklinker	Hüttensand	Silicastaub		Puzzolane		Flugasche				
							natürlich	natürlich getempert	kieselsäurereich	kalkreich			
K	S	D ²⁾		P	Q	V	W						
VLH III	Hochfenzement	VLH III/B	20-34	66-80	-		-	-	-	-	0-5		
		VLH III/C	5-19	81-95	-		-	-	-	-	0-5		
VLH IV	Puzzolanzement ³⁾	VLH IV/A	65-89	-	<----- 11-35 ----->						0-5		
		VLH IV/B	45-64	-	<----- 36-55 ----->						0-5		
VLH V	Kompositzement ³⁾	VLH V/A	40-64	18-30	-		<----- 18-30 ----->		-		0-5		
		VLH V/B	20-38	31-50	-		<----- 31-50 ----->		-		0-5		

¹⁾ Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf die Summe der Haupt- und Nebenbestandteile.

²⁾ Der Anteil von Silicastaub ist auf 10 % 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 Zementes angegeben werden.

Normbezeichnung

Bezeichnung eines Sonderzementes mit sehr niedriger Hydratationswärme mit einem Massenanteil von Hüttensand zwischen 81 und 95 M.-% mit sehr niedriger Hydratationswärme:

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

1.5 Zementeigenschaften

1.5.1 Druckfestigkeit

Tabelle 1.5.1.a: Anforderungen an die Druckfestigkeit

Festigkeitsklasse	Druckfestigkeit [MPa] oder [N/mm ²]			
	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 nach DIN EN 197-4.

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 min
42,5 L bis 42,5 R	≥ 60 min
52,5 L bis 52,5 R	≥ 45 min
Zement mit frühem Erstarren (FE-Zement)	
32,5 N und 32,5 R	≥ 15 min und < 75 min
42,5 N und 42,5 R	≥ 15 min und < 60 min
52,5 N und 52,5 R	≥ 15 min und < 45 min
Schnellerstarrender Zement (SE-Zement)	
32,5 N bis 52,5 R	≤ 45 min ¹⁾
Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme (VLH)	
22,5	≥ 75 min

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 bestimmt.

1.5.4 Hydratationswärme (siehe auch Kapitel 1.2.1, 1.4 und 12.3)

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
Portlandzement	375 bis 525 J/g
Portlandhüttenzement und Hochofenzement	355 bis 440 J/g
Portlandpuzzolanzement	315 bis 420 J/g
Portlandschieferzement	360 bis 480 J/g
Tonerdezement	545 bis 585 J/g

¹⁾ Beispiele in Anlehnung an Zementtaschenbuch, Ausgabe 2002.

1.5.5 Farbe

Die Farbe eines Zementes hängt von den verwendeten Rohstoffen, dem Herstellungsverfahren und der Mahlfeinheit ab. Fein gemahlene Zemente sind in der Regel 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 (Abweichungen von diesen Durchschnittswerten sind möglich)

Zementart	Dichte [kg/dm ³]	Schüttdichte [kg/dm ³]	
		lose eingelaufen	eingertüttelt
Portlandzement	3,10	0,9 - 1,2	1,6 - 1,9
Portlandkalkzement	3,05		
Portlandhüttenzement	3,05		
Hochofenzement	3,00		
Portlandpuzzolanzement	2,90		

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 cm²/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.

1.7 Gesundheitliche Relevanz von Zement

Beim Anmachen mit Wasser reagieren Zemente, die Portlandzementklinker enthalten, stark basisch (pH-Wert > 12,5). Dies führt bei Augenkontakt und Hautkontakt zu Reizungen. Gemäß der Gefahrstoffverordnung sind Zemente deshalb als „reizend“ einzustufen und mit dem Gefahrensymbol „X_i“ zu kennzeichnen.

Gemäß Chemikalien-Verbotsverordnung und Gefahrstoffverordnung dürfen Zement und zementhaltige Zubereitungen nur in Verkehr gebracht und verwendet werden, wenn ihr Gehalt an wasserlöslichem Chrom VI (Chromat) nicht mehr als 0,0002 % (2 ppm) bezogen auf die Trockenmasse Zement beträgt. Ausnahme ist die Verwendung in überwachten, geschlossenen und vollautomatischen Prozessen, bei denen für den Verarbeiter keine Gefahr von Hautkontakt besteht.

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

Unabhängig vom Chromatgehalt ist bei der Verarbeitung von Zement ein direkter Kontakt mit der Haut oder den Augen unbedingt zu vermeiden. Individuelle Vorsichtsmaßnahmen, wie das Tragen von Schutzhandschuhen oder einer Schutzbrille, sind erforderlich.

Es gelten folgende Gefahrensätze und Sicherheitsratschläge:

Gefahrensätze:

- R 37 Reizt die Atmungsorgane.
- R 38 Reizt die Haut.
- R 41 Gefahr ernster Augenschäden.
- R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich (nur bei nicht chromatreduziertem Zement).

Sicherheitsratschläge:

- S 2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
- S 22 Staub nicht einatmen.

- S 24 Berührung mit der Haut vermeiden.
- S 25 Berührung mit den Augen vermeiden
- S 26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren.
- S 37 Geeignete Schutzhandschuhe tragen.
- S 39 Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.
- S 46 Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen.

1.8 Tonerdezement

1.8.1 Tonerdezement – Herstellung und Eigenschaften

Tonerdezement ist kein Zement nach DIN EN 197 oder DIN 1164 und in Deutschland nicht für den konstruktiven Ingenieurbau zugelassen.

Herstellung

Tonerdezemente sind Calciumaluminatzemente, deren Klinker aus Bau- 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 h
- normale Festigkeitsentwicklung von Mörtel aus TZ (Normmörtel mit $w/z = 0,40$):
 - 6 bis 8 Stunden: ca. 35 bis 55 N/mm²
 - 1 Tag: ca. 60 bis 80 N/mm²
 - 28 Tage: ca. 80 bis 100 N/mm²
- feuerfest: Mörtel und Betone aus TZ 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 geeigneten Zuschlägen zu einer keramischen Bindung und dementsprechend zu einem erneuten Festigkeitsanstieg.
- sulfatbeständig, da C_3A -frei
- hohe Abriebfestigkeit (Abrasionswiderstand) von Mörteln und Betonen bei Verwendung von TZ
- 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 TZ 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 heilen in der Regel beim ersten Wasserkontakt zu.

Besondere Hinweise:

Die Hydratation von Tonerdezement unterscheidet sich wesentlich von der des Portlandzements, da die Form der gebildeten Calciumaluminat-hydrate 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.

1.8.2 Tonerdezement (CAC) nach DIN EN 14647

Tonerdezement (CAC) nach DIN EN 14647 ist ein in Europa geregelter Tonerdezement mit definierten Eigenschaften. Er ist in Deutschland für die Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 nicht zulässig.

Eigenschaften:

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

Normbezeichnung:

Tonerdezement EN 14647 CAC

1.9 Auswahl von Normzementen von HeidelbergCement

Tabelle 1.9: Auswahl von Normzementen von HeidelbergCement

Zemente	Eigenschaften										Anwendungsbereich																										
	Festigkeitsentwicklung				hoher Sulfatwiderstand	sehr frühes Erstarren	niedrige Hydrationswärme	niedriger wirksamer Alkaligehalt	verminderte Ausblühneigung	dunkle Farbgebung	verbessertes Wasserrückhaltevermögen	hohe Nacherhärtung	Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	Bevorzugte Festigkeitsklassen			Sulfatangriff (XA2, XA3)	Spritzbeton ohne BE, Trockenspritzverfahren	Frühochtfester Beton	Beton bei kühler Witterung	Beton bei höheren Temperaturen	Beton für massive Bauteile	Stichtbeton	Alkalimföndliche Gesteinskörnung	Betonfertigteile	Betonwaren	Rohre und Schachttelle	Porenbeton	Estrich	Putz- und Mauermörtel	Mörtel für dunkle Fugen						
	langsam	normal	schnell	sehr schnell										≤ C30/37	≤ C35/45	≥ C30/37																					
Portlandzement																																					
CEM I 32,5 R	■											■		■																							
CEM I 32,5 R-SE ChronoCem					■										■																						
CEM I 42,5 N	■													■																							
CEM I 42,5 N-HS	■				■					■				■		■																				■	
CEM I 42,5 R		■												■		■	■							■	■												
CEM I 42,5 R (sp)		■												■		■								■	■												
CEM I 42,5 R-HS Antisulfat		■			■					■				■	■	■	■																			■	
CEM I 52,5 N		■												■		■	■								■	■											
CEM I 52,5 R			■											■		■	■																				
Portlandkalkzement																																					
CEM II/A-LL 32,5 R		■												■										■										■	■		
CEM II/A-LL 42,5 R Limament			■												■		■	■						■		■	■										
Portlandhüttenzement																																					
CEM II/A-S 32,5 R		■												■										■											■	■	
CEM II/A-S 42,5 R			■												■		■	■								■	■										
CEM II/A-S 52,5 N			■												■		■	■								■	■										

1.10 Spezialbindemittel von HeidelbergCement

1

Tabelle 1.10: Spezialbindemittel von HeidelbergCement

Spezialbindemittel	Eigenschaften	Verwendung
HC Geotechnik Verfüll- und Verpressmaterialien		
Dämmer® – Das Original	<ul style="list-style-type: none"> ■ hochfließfähige, stabile Suspensionen ■ flexibles Erstarrungsverhalten ■ volumenbeständig ■ zugelassen für Wasserschutzzonen I und II 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verfüllung unterirdischer Hohlräume aller Art ■ Bauwerkshinterfüllung ■ Verpressung von Fels und kiesigen/grobsandigen Böden ■ Abdichtung von Wasserhorizonten und Ringraumverpressungen
Mixxan®	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verfüllmaterial aus Spezialbindemittel, Kalksteinmehl und Flugasche ■ einfache Verarbeitung ■ Verarbeitungszeit und Festigkeit individuell einstellbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verfüllung unterirdischer Hohlräume
Blitzdämmer®	<ul style="list-style-type: none"> ■ entmischungsfreie, homogene, hochfließfähige Suspensionen ■ beschleunigtes Abbindeverhalten ■ erhöhte Festigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ringraumverfüllung von Mantelrohren für Gas, Erdöl, Wasser ■ kathodischer Korrosionsschutz ■ Verpressungen
Brunnen-Dämmer®	<ul style="list-style-type: none"> ■ variables Abbindeverhalten ■ volumenbeständig ■ hoch sulfatwiderstandsfähig ■ hohe Dichtigkeit ■ mit handelsüblichen Aggregaten verarbeitbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ringraumabdichtung im Brunnenbau ■ entspricht Anforderungen gemäß DVGW-Merkblatt W121 für den Brunnenbau
ThermoCem®	<ul style="list-style-type: none"> ■ tonhaltiger, hydraulisch abbindender Trockenmörtel ■ hohe Wärmeleitfähigkeit (ca. 2 W/mK) ■ kraftschlüssige Verbindung zwischen Sonde und Erdreich 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verfüllung, Verfestigung und Verpressung von Erdwärmebohrungen ■ Abdichtung von Wasserhorizonten
HC Geotechnik Bindemittel für den Dichtwandbau		
DiWa-mix®	<ul style="list-style-type: none"> ■ angepasste Verarbeitungszeiten ■ kontrollierte Festigkeitsentwicklung ■ hohe Widerstandsfähigkeit gegen chemischen Angriff ■ technisch dicht 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fertigmischung für den Dichtwandbau im Einphasenverfahren ■ Umschließung von Deponien und kontaminierten Standorten ■ Greifer- oder Fräsverfahren
Seku-mix®	<ul style="list-style-type: none"> ■ angepasste Verarbeitungszeiten ■ kontrollierte Festigkeitsentwicklung ■ technisch dicht 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fertigmischung für den Dichtwandbau im Einphasenverfahren ■ Umschließung von Baugruben (Baugrubensicherung) ■ Abdichtung von Dämmen und Deichen im Hochwasserschutz ■ auch für temporäre Maßnahmen ■ Greifer- oder Fräsverfahren
SWM	<ul style="list-style-type: none"> ■ steuerbare Viskositäten ■ geringe Durchlässigkeiten ■ flexible Verarbeitbarkeit ■ auch als Compound lieferbar (Steinmehlzugabe vor Ort) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fertigbaustoff zur Herstellung von Schmalwänden ■ Vertikalabdichtungen für Deponiebau, Baugrubenherstellung, Deichbau

Fortsetzung Tabelle nächste Seite ►

Spezialbindemittel	Eigenschaften	Verwendung
HC Geotechnik Injektionsbaustoffe		
Jet-mix®	<ul style="list-style-type: none"> ■ angepasste Verarbeitungszeiten ■ variable Viskositäten und Festigkeitsentwicklung ■ chromatarme und HS-beständige Mischungen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bodenverfestigung und -abdichtung im HDI-Verfahren (Hochdruckinjektion) ■ Unterfangungen ■ Nachgründungen ■ Hebungsinjektionen
Ultrafin® 12	<ul style="list-style-type: none"> ■ mikrofeines hydraulisches Bindemittel ■ eng abgestufte Kornverteilung ■ optimale Penetration ■ hoher Sulfatwiderstand ■ alkaliarm 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verfestigungs- und Abdichtungsinjektion im Niederdruckverfahren
HC Geotechnik Baustoffe für Tunnelbau		
Ankermörtel	<ul style="list-style-type: none"> ■ hohe Früh- und Endfestigkeit ■ schrumpfungsfrei ■ sehr gute Pumpfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vernagelung zur Baugruben-, Fels- und Hangsicherung ■ kraftschlüssiges Einbinden von Gebirgsankern und -dübeln im Berg- und Tunnelbau ■ Füllen von Hohlräumen und Fugen
Spritzbeton	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bereitstellungsgemische nach DIN 18551 ■ Festigkeitsklassen C20/25 bis C30/37 ■ individuelle Anpassung der Rezepturen möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ■ untertägiger Hohlraumbau: Tunnel-, Stollen-, Berg- und Schachtbau ■ temporäre Sicherung von Hängen und Baugruben ■ dauerhafte Verstärkung oder Instandsetzung bestehender Bauwerke
HC Geotechnik Erhärtende Bohrspülung		
Drill-mix®	<ul style="list-style-type: none"> ■ niedrige Viskosität bei hohem Austragsverhalten ■ stabil gegen die Sedimentation von Bohrgut ■ recyclingfähig ■ selbsterhärtend bei flexibler Verarbeitungszeit und Festigkeitsentwicklung ■ kraftschlüssig und volumenstabil ■ anti-korrosiv ■ hochdicht 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ringraum- und Bohrlochstabilisierung für Horizontalspülbohrungen und Microtunneling
HC Geotechnik Baustoffe für Bodenbehandlung		
Multicrete®	<ul style="list-style-type: none"> ■ einstellbar auf den jeweiligen Bodentyp ■ variable Früh- und Endfestigkeiten ■ mittlerer bis hoher Wasseranspruch 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Stabilisierung/Verfestigung von Böden und Mineralstoffgemischen ■ Verfestigung und Konditionierung von Schlämmen ■ Mixed-in-place, Mixed-on-site oder Mixed-in-plant-Verfahren ■ Einsatz im Grund- und Straßenbau, Damm- und Kanalbau

Fortsetzung Tabelle nächste Seite ►

Spezialbindemittel	Eigenschaften	Verwendung
HC Geotechnik Recyclingbinder®		
Recyclingbinder® TA	<ul style="list-style-type: none"> ■ hydraulisch erhärtendes Bindemittel ■ nach DIN 18506 für teerhaltiges Ausbaumaterial ■ Immobilisierung organischer Schadstoffe ■ langsamer Erhärtungsverlauf 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Herstellung hydraulisch gebundener Tragschichten ■ Wiederverwendung von hoch bis sehr hoch Phenol- und PAK-haltigem Straßenaufbruch
Recyclingbinder® HT	<ul style="list-style-type: none"> ■ hydraulisch erhärtendes Bindemittel ■ nach DIN 18506 für teerhaltiges Ausbaumaterial ■ Immobilisierung organischer Schadstoffe ■ langsamer Erhärtungsverlauf 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Herstellung hydraulisch gebundener Tragschichten ■ Wiederverwendung von Phenol- und PAK-haltigem Straßenaufbruch
HC Geotechnik Depocrete®		
Depocrete®	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eigenschaften werden individuell an die Anforderungen der Verfestigung/Immobilisierung angepasst 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verfestigung und Immobilisierung von Schadstoffen
Putz- und Mauerbinder		
Putz- und Mauerbinder MC 5	<ul style="list-style-type: none"> ■ fein gemahlenes, hydraulisches Bindemittel nach DIN EN 413-1 ■ hohe Ergiebigkeit ■ gute Verarbeitbarkeit ■ großes Wasserrückhaltevermögen ■ rasche Bautrocknung ■ gute Festigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mauermörtel für Außen und Innen ■ Putzmörtel für Außenputz und Innenputz ■ Unterputz unter Gipsglättputzen oder Stukkaturen
Putz- und Mauerbinder MC 12,5	<ul style="list-style-type: none"> ■ fein gemahlenes, hydraulisches Bindemittel nach DIN EN 413-1 ■ hohe Ergiebigkeit ■ gute Verarbeitbarkeit ■ großes Wasserrückhaltevermögen ■ schnelle Erhärtung ■ rasche Bautrocknung ■ sehr gute Festigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mauermörtel für Außen und Innen ■ Putzmörtel für Außenputz und Innenputz ■ bevorzugt für die Herstellung von Werkmauermörteln, Putzmörtel und für Mehrkammersilosysteme
Hydraulischer Kalk		
Hydraulischer Kalk HL 5	<ul style="list-style-type: none"> ■ fein gemahlenes, hydraulisches Bindemittel nach DIN EN 459 ■ hohe Ergiebigkeit ■ gute Verarbeitbarkeit ■ gutes Wasserrückhaltevermögen ■ rasche Bautrocknung ■ gute Festigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mauermörtel für Außen und Innen ■ Putzmörtel für Außen und Innen ■ Unterputz unter Gipsglättputzen oder Stukkaturen
Hydraulischer Tragschichtbinder		
Hydraulischer Tragschichtbinder HRB 32,5 E	<ul style="list-style-type: none"> ■ Boden- und Tragschichtbinder nach DIN 18506 ■ günstige Kornverteilung ■ langsamer Erhärtungsverlauf ■ vermindert die Gefahr einer Rissbildung ■ optimiert die Rissverteilung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Straßen- und Gleisanlagenbau ■ Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen ■ untere Tragschichten ■ Planum ■ Herstellung von Verfestigungen nach ZTV Beton StB 07/TL Beton-StB 07

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 4226-100	Rezyklierte Gesteinskörnungen	2.4
DAfStb-Richtlinie	Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100	
DAfStb-Richtlinie	Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton	2.5
DIN EN 13139	Gesteinskörnungen für Mörtel	15

2.1 Begriffe

Tabelle 2.1.a: Begriffe zur Einteilung von Gesteinskörnungen

Einteilung nach	Gesteinskörnung	Definition/Anforderung
Herkunft	natürlich	<ul style="list-style-type: none"> ■ natürliches mineralisches Vorkommen ■ ausschließlich mechanische Aufbereitung
	industriell hergestellt	<ul style="list-style-type: none"> ■ mineralischer Ursprung ■ industriell hergestellt (thermischer o. a. Prozess)
	rezykliert	<ul style="list-style-type: none"> ■ aufbereitetes anorganisches Material aus Altbaustoff ■ Sammelbegriff für rezyklierten Splitt und rezyklierten Brechsand
	Kies	■ natürlich gerundetes Material
	Splitt	■ gebrochenes Material
Rohdichte	normal	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kornrohichte > 2000 kg/m³ ■ mineralischer Ursprung
	leicht	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kornrohichte ≤ 2000 kg/m³ oder Schüttdichte ≤ 1200 kg/m³ ■ mineralischer Ursprung
Feinheit	grob	■ D ≥ 4 mm und d ≥ 2 mm
	fein	■ D ≤ 4 mm (Sand)
	Feinanteil	■ Gesteinsanteil < 0,063 mm
	Füller (Gesteinsmehl)	■ überwiegender Teil < 0,063 mm

Kornzusammensetzung

Korngrößenverteilung, ausgedrückt durch die Siebdurchgänge [M.-%] durch eine festgelegte Anzahl von Sieben.

2

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, die das charakteristische Niveau für eine Eigenschaft als Bandbreite oder Grenzwert vorgeben.

Tabelle 2.2.a: Übersicht der Eigenschaften und Kategorien

Anforderungen	Eigenschaft	Kategorie
geometrische	<ul style="list-style-type: none"> ■ Korngruppe ■ Kornzusammensetzung ■ Kornform ■ Feinanteile ■ Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ d/D ■ G ■ FI, SI ■ f ■ SC
chemische	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gehalt an wasserlöslichen Chloridionen ■ Gehalt an säurelöslichem Sulfat ■ Gesamtschwefel 	<ul style="list-style-type: none"> - ■ AS -
physikalische	<ul style="list-style-type: none"> ■ Widerstand gegen Zertrümmerung ■ Verschleißwiderstand von groben Gesteinskörnungen ■ Polierwiderstand von groben Gesteinskörnungen ■ Abriebwiderstand von groben Gesteinskörnungen ■ Widerstand von groben Gesteinskörnungen gegen Abrieb durch Spikereifen ■ Frost- und Frost-Tausalzwiderstand 	<ul style="list-style-type: none"> ■ LA, SZ ■ MDE ■ PSV ■ AAV ■ AN ■ F, MS
sonstige	<ul style="list-style-type: none"> ■ Erstarrungs- und erhärtungsstörende Stoffe ■ Leichtgewichtige organische Verunreinigungen 	<ul style="list-style-type: none"> - -

2.2.1 Kategorien

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

Die Norm definiert Kategorien mit dem Index „angegeben“, z. B. $f_{\text{angegeben}}$. Diese bieten dem Lieferanten von Gesteinskörnungen die Möglichkeit, die Gesteinskörnungen, deren Kennwert über dem nach Norm höchstmöglichen Wert liegt, mit eigenen Werten einzustufen. Zum Beispiel haben grobe Gesteinskörnungen der Kategorie f_5 einen Gehalt an Feinanteilen ≤ 5 M.-%.

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

Gesteinskörnung	Korngröße [mm]	Kategorie G	Durchgang [M.-%]				
			2D	1,4D ¹⁾²⁾	D ³⁾	d ²⁾	d/2 ¹⁾²⁾
grob	D/d ≤ 2 oder D $\leq 11,2$	G _c 85/20	100	98-100	85-99	0-20	0-5
		G _c 80/20	100	98-100	80-99	0-20	0-5
	D/d > 2 und D > 11,2	G _c 90/15	100	98-100	90-99	0-15	0-5
fein	D ≤ 4 und d = 0	G _f 85	100	95-100	85-99	-	-
natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8	D = 8 und d = 0	G _{NG} 90	100	98-100	90-99	-	-
Korn-gemisch	D ≤ 45 und d = 0	G _A 90	100	98-100	90-99	-	-
		G _A 85	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
feine Gesteinskörnung (Sand)	f _{NR}	keine Anforderung
	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 1367-1:2000-01, 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 E DIN EN 1367-6 unter Verwendung einer 1%igen NaCl-Lösung vereinbart werden. Allgemein gültige Grenzwerte für die Einstufung liegen derzeit nicht vor. Gesteinskörnungen mit einem Masseverlust ≤ 8 % können nach bisherigen Erfahrungen für die Kategorien MS₁₈ und MS₂₅ verwendet werden.

Bei einem Masseverlust > 8 % oder Nichterfüllung der Anforderungen an MS₁₈ und MS₂₅ sind alternativ Frost-Tausalz-Prüfungen am Beton nach DIN V 18004: 2004-04, Abschn. 4 möglich; Anforderung: Abwitterung ≤ 500 g/m² nach 56 Frost-Tauwechseln. Der angegebene Grenzwert ist als vorläufig anzusehen, 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⁾ Leichtgewichtige organische Verunreinigungen können beispielsweise sein: Holz, Torf, Braunkohle, Blätter.

²⁾ Bestimmung der Anteile nach DIN EN 1744-1:1998.

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 [%]
alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstück- schlacken	AS _{0,2}	≤ 0,2
	AS _{0,8}	≤ 0,8
	AS _{angegeben}	> 0,8
	AS _{NR}	keine Anforderung

Tabelle 2.2.1.j: Einstufung des Muschelschalengehalts grober Gesteinskörnungen

Kategorie SC	Muschelschalengehalt [%]
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 nach DIN EN 12620

Eigenschaft	Regelanforderung
Kornzusammensetzung	
Grobe Gesteinskörnungen mit D/d ≤ 2 oder D ≤ 11,2	G _C 85/20
Feine Gesteinskörnungen	Tabelle 2.2.1.b (allgemeine Verwendungszwecke)
Kornmische	G _A 90
Kornform	FI ₅₀ oder SI ₅₅
Muschelschalengehalt	SC ₁₀
Feinanteile	
Grobe Gesteinskörnung	f _{1,5}
Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8	f ₃
Kornmisch	f ₃
Feine Gesteinskörnung	f ₃
Leichtgewichtige organische Verunreinigungen	
Feine Gesteinskörnung	≤ 0,5 M.-%
Grobe Gesteinskörnung, natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 und Kornmisch	≤ 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.-%

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.

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⁾						für den Siebdurchgang durch die Prüfsiebe [M.-%]								
	0,063	0,25	1	2	2,8	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	45	63	
0/2	3 ²⁾			85-99 ³⁾	95-100	100									
	±5	±25	±20	±5											
0/4	3 ²⁾					85-99 ³⁾	95-100	100							
	±3	±20	±20			±5									
2/4	1,5 ²⁾		0-5	0-20		85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100							
2/5	1,5 ²⁾		0-5	0-20			85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100						
2/8	1,5 ²⁾		0-5	0-20				85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100					
4/8	1,5 ²⁾			0-5		0-20		85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100					
5/8	1,5 ²⁾				0-5		0-20	85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100					
8/11	1,5 ²⁾					0-5		0-20	85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100				
8/16	1,5 ²⁾					0-5		0-20	85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100				
11/16	1,5 ²⁾						0-5		0-20	85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100			
16/22	1,5 ²⁾							0-5		0-20	85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100		
16/32	1,5 ²⁾							0-5		0-20		85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100	
22/32	1,5 ²⁾								0-5		0-20	85-99 ³⁾⁴⁾	98-100	100	

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.

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

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

Eigenschaft	Anforderung	
Kornzusammensetzung	$D/d \geq 1,4$	
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)
Kornrohddichte ¹⁾	anzugeben	
Wasseraufnahme (w_{60}) ²⁾	anzugeben	
Kornfestigkeit ³⁾	≤ 15 % vom deklarierten Wert	
Frost-Tau-Widerstand ⁴⁾	F_4 für XF1 und F_2 für XF3	
Frost-Tausalz-Widerstand ⁵⁾	≤ 500 g/m ² ⁵⁾	
Chloride ⁶⁾	$\leq 0,04$ M.-% bei Betonstahlbewehrung $\leq 0,02$ M.-% bei Spannstahlbewehrung $\leq 0,15$ M.-% ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall	
Säurelösliches Sulfat	$\leq 0,8$ M.-%	
Gesamtschwefel	≤ 1 M.-%	
Glühverlust (nur Kesselsand)	≤ 5 M.-%	
Organische Bestandteile ⁷⁾	anzugeben	

Fußnoten siehe Seite 41

- ¹⁾ Alternativ die wirksame Kornrohddichte nach DIN V 18004:2004-04, 5.2.4.2, wenn sie nicht mehr als ± 15 % vom deklarierten Wert abweicht, höchstens jedoch um ± 150 kg/m³
- ²⁾ Alternativ die Wasseraufnahme ($w_{60,rd}$) nach DIN V 18004:2004-04, 5.3, oder die Wasseraufnahme (w_{60}) nach DIN V 18004:2004-04, 7.
- ³⁾ Alternativ die Kornfestigkeit nach DIN V 18004:2004-04, 5.4.
- ⁴⁾ Alternativ ist die Prüfung des Frostwiderstands am Beton nach DIN V 18004:2004-04, 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-Widerstands am Beton nach DIN V 18004:2004-04, 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 1744-1:1998-05, 15.3, zu beurteilen

Bei der Verwendung von leichten Gesteinskörnungen in Beton oder Mörtel ist darüberhinaus 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/m³.
- 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 15.3 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.

2.4 Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100

DIN 4226-100 gilt für rezyklierte Gesteinskörnungen mit einer Kornroh-dichte $\geq 1500 \text{ kg/m}^3$.

Es werden vier Liefertypen entsprechend der Zusammensetzung unterschieden.

Tabelle 2.4.a: Stoffliche Zusammensetzung, Kornroh-dichte und Wasseraufnahme

Liefertyp	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Bestandteile [M.-%]				
Beton und Gesteinskörnungen	≥ 90	≥ 70	≤ 20	≥ 80
Klinker, nicht porosierter Ziegel	≤ 10	≤ 30	≥ 80	
Kalksandstein			≤ 5	
andere mineralische Bestandteile ¹⁾	≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 20
Asphalt	≤ 1	≤ 1	≤ 1	
Fremdbestandteile ²⁾	$\leq 0,2$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	
Kornroh-dichte [kg/m³]				
Minimale Kornroh-dichte	2000		1800	1500
Schwankungsbreite	± 150			keine Anforderung
Max. Wasseraufnahme [M.-%]				
nach 10 min	10	15	20	keine Anforderung

¹⁾ z. B. porosierter Ziegel, Leichtbeton, Porenbeton, haufwerksporiger Beton, Putz, Mörtel, poröse Schlacke, Bimsstein

²⁾ z. B. Glas, Keramik, NE-Metallschlacke, Stückgips, Gummi, Kunststoff, Metall, Holz, Pflanzenreste, Papier, sonstige Stoffe

2.4.1 Kategorien

Für die Einstufung von rezyklierten Gesteinskörnungen werden die gleichen Kategorien verwendet wie für normale Gesteinskörnungen (s. Kapitel 2.2.1). Zusätzlich werden Kategorien für den Chloridgehalt definiert.

Tabelle 2.4.1.a: Kategorien für die Höchstwerte des Gehaltes an säurelöslichen Chloriden

Liefertypen	Kategorie ACI	max. Gehalt an säurelöslichen Chloriden [M.-%]
1, 2, 3	ACI _{0,04}	0,04
4	ACI _{0,15}	0,15

2.4.2 Regelanforderungen

Tabelle 2.4.2.a: Regelanforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen

Eigenschaft	Regelanforderung für Typ		
	1, 2, 3	4	
Bezeichnung der Korngruppen (Lieferkörnungen)	Grundsiebsatz plus Ergänzungssiebsatz 1		
Kornzusammensetzung	grobe Gesteinskörnungen mit $D/d \leq 2$ oder $D \leq 11,2$	G _{D85} ¹⁾	G _{D80} ¹⁾
	grobe Gesteinskörnungen mit $D/d > 2$ oder $D > 11,2$	G _{D90} ¹⁾	
	feine Gesteinskörnungen	Grenzabweichungen nach Tabelle 2.2.1.b (allgemeine Verwendungszwecke)	
	Korngemisch	G _{D90} ¹⁾	G _{D85} ¹⁾
Kornform	Sl ₅₅		
Feinanteile	feine Gesteinskörnung	f ₁₀	f ₁₆
	grobe Gesteinskörnung	f ₄	f ₄
Chloride	ACI _{0,04}	ACI _{0,15}	
Säurelösliches Sulfat	AS _{0,8}	keine Anforderung	

¹⁾ G_{D80} entspricht G_{C80/20}, G_{D85} entspricht G_{C85/20} und G_{D90} entspricht G_{C90/15} aus Tabelle 2.2.1.a

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

Nach DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100“ müssen rezyklierte Gesteinskörnungen, die für Beton verwendet werden, der Frost ohne Taumitteleinwirkung ausgesetzt ist, folgende Anforderungen erfüllen:

- Expositions-kategorie XF1: F₄
- Expositions-kategorie XF3: F₂

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 Alkaligehalt sowie den Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen 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, die Alkali-Richtlinie Teil 3 beschäftigt sich mit Gesteinskörnungen aus gebrochenem oder rezykliertem Gestein.

2.5.1 Feuchtigkeitsklassen und Alkaliempfindlichkeitsklassen

Nach Richtlinie sind in Abhängigkeit von den zu erwartenden Umwelteinflüssen Betonbauteile Feuchtigkeitsklassen zuzuordnen (s. Tabelle 2.5.a) und die Gesteinskörnung ist in eine der in Tabelle 2.5.b genannten Alkaliempfindlichkeitsklassen einzustufen.

Tabelle 2.5.a: Feuchtigkeitsklassen

Feuchtigkeitsklasse	Abkürzung	Beispiele
trocken	WO	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ ungeschützte Außenbauteile ■ Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, in denen die rel. Luftfeuchte überwiegend > 80 % ist ■ Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung ■ massige Bauteile, deren kleinstes Maß > 0,50 m ist
feucht + Alkalizufuhr von außen	WA	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z.B. Betonfahrbahnen)

Tabelle 2.5.b: Alkaliempfindlichkeitsklassen

Klasse	Gesteinskörnungen	Einstufung hinsichtlich AKR
E I-O	Opalsandstein einschließlich Kieselkreide	unbedenklich
E II-O		bedingt brauchbar
E III-O		bedenklich
E I-OF	Opalsandstein einschließlich Kieselkreide und Flint	unbedenklich
E II-OF		bedingt brauchbar
E III-OF		bedenklich
E I-S	<ul style="list-style-type: none"> ■ gebrochene Grauwacke ■ gebrochener Quarzporphyr (Rhyolith) ■ gebrochener Oberrhein-Kies ■ rezyklierte Körnungen ■ Kies mit > 10 M.-% der vorgenannten Körnungen 	unbedenklich
E III-S		<ul style="list-style-type: none"> ■ andere gebrochene, nicht als <i>unbedenklich</i> eingestufte Gesteinskörnungen ¹⁾ ■ andere gebrochene Gesteinskörnungen <i>ohne baupraktische Erfahrungen</i> ²⁾

¹⁾ Unbedenklich E I: Sofern eine Gesteinskörnung 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 gekommen ist.

²⁾ keine baupraktischen Erfahrungen im Geltungsbereich der Alkali-Richtlinie

2.5.2 Vorbeugende Maßnahmen

Gemäß Alkali-Richtlinie sind die in den Tabellen 2.5.c bis 2.5.e genannten vorbeugenden Maßnahmen gegen schädigende Alkalikieselsäurereaktion im Beton zu ergreifen.

2.5.2.1 Gesteinskörnungen mit Opalsandstein und Flint

Tabelle 2.5.c: Vorbeugende Maßnahmen für Beton mit einem Zementgehalt¹⁾
 $z \leq 330 \text{ kg/m}^3$

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Feuchtigkeitsklasse			
	WO	WF	WA	WS
E I-O	keine	keine	keine	Zemente nach Tabelle 2.5.f
E II-O	keine	keine	NA-Zement ²⁾	Austausch der Gesteinskörnung
E III-O	keine	NA-Zement ²⁾	Austausch der Gesteinskörnung	Austausch der Gesteinskörnung

¹⁾ Bei $z \leq 330 \text{ kg/m}^3$ ist E I-O bis E III-O maßgebend.

²⁾ NA-Zement s. Tabelle 1.3.2.a

Tabelle 2.5.d: Vorbeugende Maßnahmen für Beton mit einem Zementgehalt¹⁾
 $z > 330 \text{ kg/m}^3$

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Feuchtigkeitsklasse			
	WO	WF	WA	WS
E I-OF	keine	keine	keine	Zemente nach Tabelle 2.5.f
E II-OF	keine	NA-Zement ²⁾	NA-Zement ²⁾	Austausch der Gesteinskörnung
E III-OF	keine	NA-Zement ²⁾	Austausch der Gesteinskörnung	Austausch der Gesteinskörnung

¹⁾ Bei $z > 330 \text{ kg/m}^3$ ist E I-OF bis E III-OF maßgebend.

²⁾ NA-Zement s. Tabelle 1.3.2.a

2.5.2.2 Gebrochene alkaliempfindliche Gesteinskörnungen

Tabelle 2.5.e: Vorbeugende Maßnahmen für Beton bei Alkaliempfindlichkeitsklassen E I-S bis E III-S

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Zementgehalt [kg/m ³]	Feuchtigkeitsklasse			
		WO	WF	WA	WS
E I-S	ohne Festlegung	keine	keine	keine	Zemente nach Tabelle 2.5.f
E III-S ¹⁾	$z \leq 300$	keine	keine	keine	Zemente nach Tabelle 2.5.f
	$300 < z \leq 350$	keine	keine	Performance Prüfung ²⁾ oder NA-Zement ⁴⁾	Zemente nach Tabelle 2.5.f und Austausch der Gesteinskörnung oder Gutachten ³⁾
	$z > 350$	keine	Performance Prüfung ²⁾ oder NA-Zement ⁴⁾	Performance Prüfung ²⁾ oder Austausch der Gesteinskörnung	Zemente nach Tabelle 2.5.f und Austausch der Gesteinskörnung oder Gutachten ³⁾

¹⁾ gilt auch für nicht beurteilte Gesteinskörnungen

²⁾ Beschreibung der Performance Prüfung im zukünftigen Teil 4 der Alkali-Richtlinie, bis auf Weiteres durch Gutachten³⁾

³⁾ Gutachten durch besonders fachkundige Personen

⁴⁾ NA-Zement s. Tabelle 1.3.2.a

Tabelle 2.5.f: Höchstzulässige Alkaligehalte von Zementen für Bauteile in der Feuchtigkeitsklasse WS

Zement	Hüttensandgehalt [M.-%]	Alkaligehalt des Zements Na ₂ O-Äquivalent [M.-%]	Alkaligehalt des Zements ohne Hüttensand/Ölschiefer Na ₂ O-Äquivalent [M.-%]
CEM I + CEM II/A	-	$\leq 0,80$	-
CEM II/B-T	-	-	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	21 bis 29	-	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	30 bis 35	-	$\leq 1,00$
CEM III/A	36 bis 50	-	$\leq 1,05$

2.6 Physikalisch-technische Eigenschaften von Gesteinskörnungen

Tabelle 2.6.a: Normale Gesteinskörnungen

Stoff	Rohdichte [kg/dm ³]	Druckfestigkeit [N/mm ²]
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	Kornrohichte [kg/dm ³]	Schüttdichte (lose eingefüllt) [kg/dm ³]	Dichte (Reindichte) [kg/dm ³]	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/dm ³]	Strahlenschutzrelevante Bestandteile
natürliche schwere Gesteinskörnungen		
Baryt (BaSO ₄)	4,0 bis 4,3	BaSO ₄ -Gehalt ≥ 85 %
Magnetit (Fe ₃ O ₄)	4,65 bis 4,8	Fe-Gehalt: 60 bis 70 %
Hämatit (Fe ₂ O 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	6,0 bis 6,2	Fe-Gehalt: 65 bis 70 %
Ferrosilicium	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		
Limont (Fe ₂ O ₃ · nH ₂ O)	3,5 bis 3,65	Kristallwassergehalt: 10 bis 12 %
Serpentin (Mg ₃ [(OH) ₆ Si ₄ O ₁₁] · H ₂ O)	ca. 2,6	Kristallwassergehalt: 11 bis 13 %
Borhaltige Zusatzstoffe		
Borocalzit Colemanit (B ₂ O ₃ + CaO + H ₂ O)	2,3 bis 2,4	B-Gehalt: ~ 13 %
Borfitrite (B ₂ O ₃ + SiO ₂ + Na ₂ O)	2,4 bis 2,5	B-Gehalt: ~ 15 %
Borkarbid (B ₄ C)	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 . Es werden fünf Bereiche unterschieden:

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

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

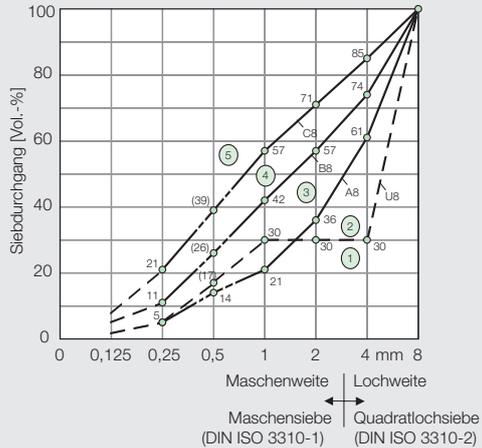


Abb. 2.7.1.b: Sieblinien [Vol.-%] mit einem Größtkorn von 16 mm

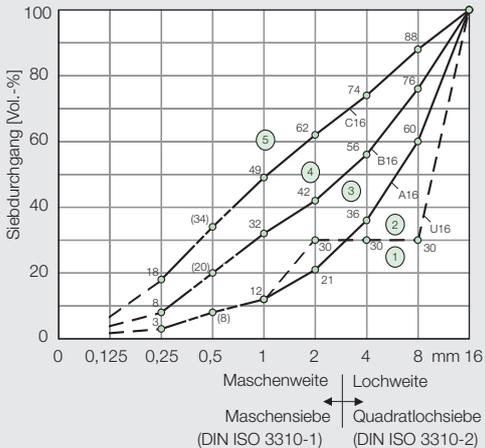


Abb. 2.7.1.c: Sieblinien [Vol.-%] mit einem Größtkorn von 32 mm

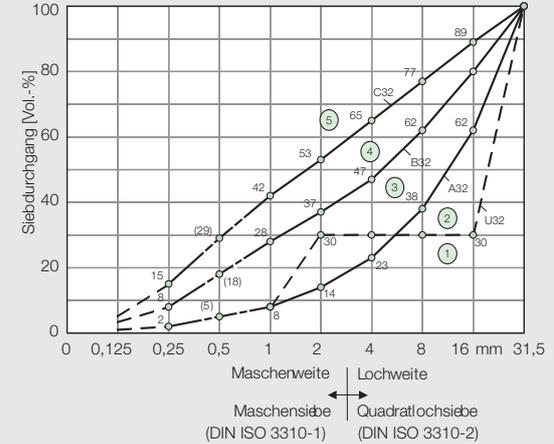
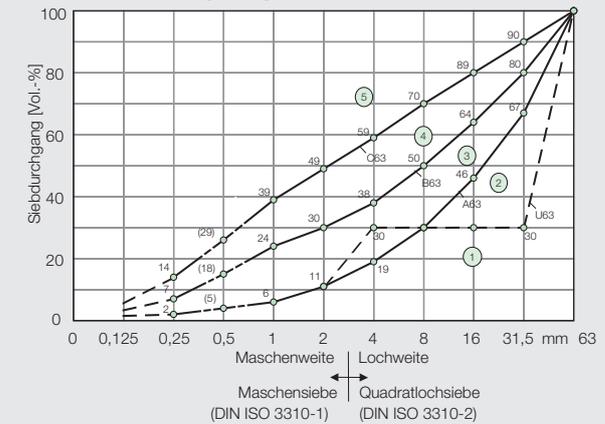


Abb. 2.7.1.d: Sieblinien [Vol.-%] mit einem Größtkorn von 63 mm



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

Die **Körnungsziffer k** ist die Summe der in Prozent 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 Prozent 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

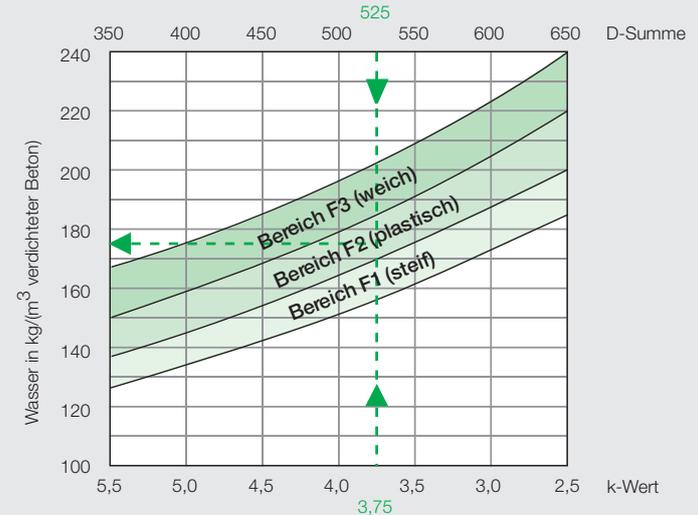
Tabelle 2.7.2.b: Berechnung von k-Wert und D-Summe für Sieblinie A/B16 (Beispiel)

Sieblochweite [mm]	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63	Summe
Siebrückstand [%]	92	81	70	60	47	25	0	0	0	375
Siebdurchgang [%]	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 ¹⁾ (bezogen auf oberflächentrockene Gesteinskörnung)

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



¹⁾ Anhaltswerte; tatsächlicher Wasseranspruch ergibt sich aus Erstprüfung.

Beispiel

Gegeben: Gesteinskörnung mit k-Wert 3,75, Ausbreitmaßklasse F2
(s. 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)

Betonzuschlag		Beispiele für den Wassergehalt w [kg/m ³] von Frischbeton der Konsistenzen F1, F2 und F3 bei Gesteinskörnungen mit ...					
Sieblinie	Körnungsziffer	... 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 18 Wirkungsgruppen/-Arten unterschieden:

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

Wirkungsgruppe / -Art	Kurzzeichen	Farbkennzeichen	Einsatz mit
Betonverflüssiger	BV	gelb	CE-Zeichen
Fließmittel	FM	grau	CE-Zeichen
Fließmittel/Verzögerer	FM	grau	CE-Zeichen
Luftporenbildner	LP	blau	CE-Zeichen
Dichtungsmittel	DM	braun	CE-Zeichen
Verzögerer	VZ	rot	CE-Zeichen
Erhärtungsbeschleuniger	BE	grün	CE-Zeichen
Erstarrungsbeschleuniger	BE	grün	CE-Zeichen
Erstarrungsbeschleuniger für Spritzbeton	SBE	grün	Zulassung
Einpresshilfen	EH	weiß	CE/Ü-Zeichen
Stabilisierer	ST	violett	CE-Zeichen
Sedimentationsreduzierer	SR	gelb-grün	Zulassung
Chromatreduzierer	CR	rosa	Zulassung
Schaumbildner	SB	orange	Zulassung
Elastische Hohlkugeln für Luftporenbeton			Zulassung
Expansionshilfe			Zulassung
Abdichtungsmittel			Zulassung
Passivator			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 934-1:2008, Anhang A.2, enthalten, dürfen nicht verwenden.

det werden, mit Ausnahme von Sulfiden und Formiaten (Ausnahmeregel gilt nicht für vorgespannte Tragwerke).

Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder müssen DIN EN 934-4, DIN V 18998 und DIN V 20000-101 entsprechen.

Die Betonzusatzmittel unterliegen bei der Herstellung einer Eigen- und Fremdüberwachung. Dabei wird neben der Gleichmäßigkeit und Wirksamkeit die Unschädlichkeit der Mittel gegenüber Beton und Bewehrung überprüft.

Mögliche Anwendungsbereiche von Betonzusatzmitteln der Firma Sika können Anhang Seite A1 und A2 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 1M, BV 3M

3.2 Fließmittel (FM)

Wirkung

Verminderung des Wasseranspruchs und/oder Verbesserung der Verarbeitbarkeit zur Herstellung von Beton der Konsistenzklassen \geq 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

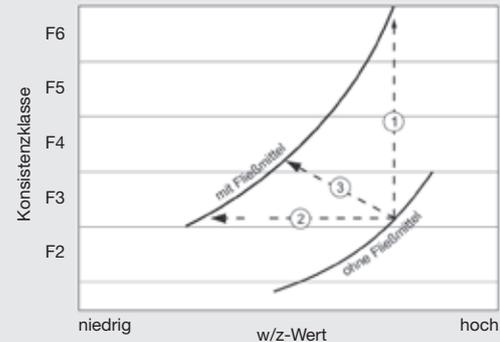
- Verbesserung der Betonqualität (Dauerhaftigkeit, Festigkeit und Verformungseigenschaften)
- Erhöhung der Frühfestigkeit (in Betonfertigteilverken, bei frühhochfestem Fließbeton für Straßenreparaturen)
- zielsichere Herstellung von Beton höchster Festigkeitsklassen (z. B. hochfeste Betone mit Silikastaub)

(3) Wassereinsparung und gleichzeitige Verflüssigung

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

3

Abbildung 3.2.a: Anwendungsmöglichkeiten von Fließmitteln



Verarbeitungsvorschriften

- Wegen der begrenzten Dauer der verflüssigenden Wirkung dürfen Fließmittel bei Transportbeton nachträglich zugemischt werden. Damit ist eine den Baugeschehen angepasste KonsistenzEinstellung 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 Wirksamkeitsprüfung nachweis erforderlich.

Sika-Produkte: z. B. Fließmittel FM 6, FM 93, ViscoCrete-1020 X, ViscoCrete-20 Gold

3.3 Fließmittel/Verzögerer (FM)

Wirkung

Verbesserung der Verarbeitbarkeit zur Herstellung von Beton der Konsistenzklassen $\geq F4$ bei gleichzeitiger Verzögerung des Erstarrens des Zementes.

Anwendung

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

Sika-Produkte: Fließmittel FM S, 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 Kapitel 12.4) einzuhalten.

Sika-Produkte: z. B. Dichtungsmittel DM 2

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)“ zusammensetzen, herzustellen und einzubauen (siehe Anhang Seite A3).

Sika-Produkte: z. B. Verzögerer VZ 1, 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. Beschleuniger BE 3

3.8 Erstarrungsbeschleuniger (BE)

Wirkung

Beschleunigen das Erstarren (Erstarrungsanfang > 30 min) 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 min) von Beton.

Anwendung

- Spritzbeton, z. B. im Tunnelbau (siehe auch Kapitel 12.7)
- Blitzmörtel zur Abdichtung von Wassereinbrüchen

Sika-Produkte: z. B. Beschleuniger Sigunit 49 AF, Sigunit-L53 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 11

3.12 Sedimentationsreduzierer (SR)

Wirkung

Verhindern das Sedimentieren von Betonbestandteilen im Frischbeton.

Anwendung

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

Sika-Produkte: Sika Control-5 SVB

3.13 Chromatreduzierer (CR)

Wirkung

Reduzieren den wasserlöslichen Chromatanteil in zementhaltigen Produkten.

Anwendung

- Bei Verarbeitung von Beton und Mörtel mit direktem Hautkontakt.

3.14 Schaumbildner (SB)

Wirkung

Durch Schaumerzeugung mittels Schaumgerät werden gleichmäßig verteilte Luftporen eingeführt.

Anwendung

- Schaumbeton bzw. Beton mit porosiertem Zementstein
- Porenleichtbeton (siehe auch Kapitel 12.12)

Sika-Produkte: z. B. Schaumbildner SB 2, SB 41 TM

3.15 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

3.16 Expansionshilfe

Wirkung

Volumenvergrößerung von Frischmörtel und Frischbeton vor dem Erstarren.

Anwendung

- Vergießen und Verfüllen von Fugen zwischen Fertigteilen
- Ausfüllen von Schlitzten in Bauteilen sowie zum Unterfüllen von Bauteilen

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

3.19 Verwendung von Betonzusatzmitteln

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

Tabelle 3.19.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 (Ausgabe 2007-02).

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 Na₂O-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 Anhang Seite A3).

- Wenn Fließmittel im Fahrmischer zugegeben werden, muss mindestens 1 min/m³, 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.

3.20 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, Anhang Seite A4).

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 Gesteinsmehle nach DIN EN 12620 oder Pigmente nach DIN EN 12878

Typ II: puzzolanische oder latentlydraulische Zusatzstoffe wie z.B. Trass nach DIN 51043, Flugasche nach DIN EN 450-1 oder Silikastaub nach DIN EN 13263-1

Für andere Zusatzstoffe kann der Eignungsnachweis für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder Europäischen technischen 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. Die Zusammensetzung hängt von Art und Herkunft der Kohle, Art und Menge der Mitverbrennungsstoffe und den Verbrennungsbedingungen ab. Der Anteil an Flugasche aus den Mitverbrennungsstoffen darf nicht mehr als 10 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 Siliciumoxid 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 ca. 18 bis 25 m²/g.

Silikastaub wird als Pulver, z. B. Sika Silicoll P, als kompakterter Silikastaub oder Suspension, z. B. Sika Silicoll SL, 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
Sulfat (SO ₃)	M.-%	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Chlorid (Cl ⁻)	M.-%	≤ 0,10	≤ 0,30 ²⁾	≤ 0,30 ²⁾
Alkalien (Na ₂ O-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 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 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·s ¹⁾ bzw. max f = 0,45-z - 3·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		
<ul style="list-style-type: none"> ■ 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
Mindestzementgehalt⁴⁾ 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 Zementarten⁵⁾		
<ul style="list-style-type: none"> ■ 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-V⁶⁾ ■ CEM II/A-M (S,D,P,V,T,LL) ■ CEM II/B-M (S-D, S-T, D-T) ■ CEM III/A⁶⁾ ■ CEM III/B mit max. 70 % Hüttensand⁶⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 Expositionsclassen 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 und Flugasche + Silikastaub für alle Expositionsclassen außer XF2 und XF4.

⁵⁾ Für andere Zemente kann die Anwendung von Flugasche im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung geregelt werden.

⁶⁾ Bezüglich Expositionsclassen XF4 siehe Tabelle 6.3.3.a

4.1.2 Verwendung von Flugasche in Unterwasserbeton

Der Gehalt an Zement und Flugasche darf 350 kg/m^3 nicht unterschreiten. Der äquivalente Wasserzementwert $(w/z)_{\text{eq}}$ 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 Kapitel 12.5)

Tabelle 4.1.3.a: Mindestgehalte bei Anrechnung von Flugasche

Mindestgehalt [kg/m ³]	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 HS-Zement nach DIN 1164 eine Mischung aus Zement und Flugasche verwendet werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Sulfatgehalt des angreifenden Wassers: $\text{SO}_4^{2-} \leq 1500 \text{ mg/l}$
- Zementart und Flugascheanteil:
 - $f \geq 0,2 \cdot (z + f)$ 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 alkaliempfindlichem Zuschlag 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 wirk-samen Alkaligehalt vernachlässigt werden.

4.2 Trass und 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 puzzolani-sche Eigenschaften.

Gesteinsmehle, wie z. B. Kalksteinmehl, sind dagegen inerte Mate-rialien, die nur der Verbesserung der Sieblinie und damit der Verar-beitbarkeit des Betons dienen.

Tabelle 4.2.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.-%	$\leq 1,0$	$\leq 0,8$
Chlorid (Cl ⁻)	M.-%	$\leq 0,10$	$\leq 0,04$
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.

4.3 Farbpigmente

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

Farbpigmente sind in der Regel mineralisch. Zur dauerhaften Farbwirk-samkeit müssen sie lichtecht und stabil im Zementstein sein.

4.4 Kunststoffdispersionen

Kunststoffdispersionen sind Systeme von fein verteilten Kunststoff-partikeln 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 Flüs-sigkeiten. Kunststoffdispersionen müssen verseifungsbeständig sein und verbessern die Frisch- und Festbetoneigenschaften.

Kunststoffdispersionen benötigen für die Verwendung in Beton nach DIN EN 206-1 eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung als organischer Betonzusatzstoff.

Die zulässigen Zusatzmengen betragen ca. 15 bis 20 %. Bei der Berechnung des w/z-Wertes sind Kunststoffdispersionen insgesamt dem Wassergehalt zuzurechnen.

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

4.5 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 1045-2 sind die Verwendungsbedingungen geregelt:

- **Stahlfasern nach DIN EN 14889-1:**
 - Zulässig sind lose Fasern, zu Bündeln geklebte Fasern mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung sowie Fasern in einer Dosierverpackung 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 1045-2 hinausgehende Regelungen zu beachten.
- **Polymerfasern nach DIN EN 14889-2:**
 - Zulässig nur mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Tabelle 4.5.a: Einteilung und Eigenschaften der Stahlfasern nach DIN EN 14889

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 gespannte 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 4.5.b: Einteilung und Eigenschaften der Polymerfasern nach DIN EN 14889

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 Kapitel 12.6

Polymerfasern:

- Reduzierung der Schwindrissbildung in Bodenplatten und Estrich
- Reduzierung der Schwindrissbildung in Betonfertigteilen und -waren
- Verbesserung des Brandverhaltens von hochfestem Beton
- Reduzierung des Rückpralls von Spritzbeton

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

Tabelle 5.1.a: Anforderungen für die Vorprüfung von Zugabewasser¹⁾

Kriterium	Anforderungen
Öle und Fette	höchstens Spuren
Reinigungsmittel	Schaum muss innerhalb von 2 min zusammenfallen
Farbe	farblos bis schwach gelblich (Ausnahme: Restwasser)
Schwebstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ■ Restwasser nach Tabelle 5.2.a ■ anderes Wasser ≤ 4 ml Absatzvolumen
Geruch	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	$\text{pH}^3 \geq 4$
Huminstoffe	nach Hinzufügen von NaOH Farbe 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⁾ Werden die Anforderungen nach Tabelle 5.1.a erfüllt, können alternativ Erstarrungszeiten und Druckfestigkeit geprüft werden.

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

Kriterium	Anforderung
Erstarrungszeiten	<ul style="list-style-type: none"> ■ Erstarrungsbeginn ≥ 1 Stunde ■ Erstarrungsende ≤ 12 Stunden ■ Abweichung ≤ 25 % vom Prüfwert mit destilliertem oder deionisiertem Wasser
mittlere Druckfestigkeit nach 7 Tagen	<ul style="list-style-type: none"> ■ ≥ 90 % der mittleren Druckfestigkeit von Probekörpern mit destilliertem oder deionisiertem Wasser

¹⁾ Werden die Anforderungen nach Tabelle 5.1.a erfüllt, können alternativ betonschädliche Verunreinigungen nach Tabelle 5.1.b geprüft werden.

5.2 Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung

Restwasser ist Wasser aus der Aufbereitung von Restbeton oder -mörtel, der Reinigung des Mixers bzw. der Fahrmischertrommel und der Betonpumpen, Brauchwasser vom Sägen, Schleifen und Wasserstrahlen von Beton, Waschwasser der Gesteinskörnung sowie Wasser, das während der Herstellung des Frischbetons anfällt.

Restwasser enthält in schwankenden Konzentrationen Feinsteile des ausgewaschenen Restbetons oder -mörtels, deren Korngröße in der Regel unter 0,25 mm liegt.

Anforderungen

- Die 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 des Restwassers 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 es nur in den Mengen zugegeben werden, die sicherstellen, 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

- Restwasser darf für Beton bis einschließlich C50/60 oder LC50/55 verwendet werden.
- Restwasser darf nicht für hochfesten Beton und Beton mit Luftporenbildnern verwendet werden. Für die Herstellung von Sichtbeton sollte auf Restwasser verzichtet werden.
- Restwasser oder eine Mischung aus Restwasser und Wasser aus einer anderen Quelle (kombiniertes Wasser) darf als Zugabewasser für Beton unter folgenden Bedingungen verwendet werden:
 - zusätzliche Masse von Feststoffen < 1 % der Gesamtmasse der Gesteinskörnung
 - gleichmäßige Verteilung des Restwassers über die Tagesproduktion
- Wenn Restwasser verwendet werden soll, sind auch die Erstprüfungen unter Verwendung von Restwasser durchzuführen.

6 Beton nach DIN EN 206-1 und 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.

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

Die hier verwendete Bezeichnung DIN EN 206-1 schließt die aktuelle Änderung DIN EN 206-1/A2 ein. Die Bezeichnungen DIN 1045-2 und DIN 1045-3 beschreiben den Stand der Ausgaben August 2008.

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

Anwendungsbereich	Die Norm ist nicht anwendbar auf ...
<ul style="list-style-type: none"> ■ Normalbeton ■ Schwerbeton ■ Leichtbeton ■ Hochfester Beton ■ Spannbeton 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 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 Trockenrohddichte > 2000 kg/m³ und ≤ 2600 kg/m³.

Schwerbeton

Beton mit einer Trockenrohddichte > 2600 kg/m³.

Leichtbeton

Beton mit einer Trockenrohddichte ≥ 800 kg/m³ und ≤ 2000 kg/m³. 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 und nicht als Lastannahmen in die Tragwerksplanung eingehen.

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.

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 Betonkorrosion sowie Feuchtigkeitsklassen für Betonkorrosion eingeteilt:

- kein Korrosions- oder Angriffsrisiko: X0
- Bewehrungskorrosion: XC, XD, XS
- Betonkorrosion: XF, XA, XM, 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

Bauteile ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall in nicht betonangreifender 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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, wird dieser einer Expositions-klasse der nachfolgenden Tabelle zugeordnet.

Tabelle 6.2.1.2.a: Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung

Klassen-bezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositions-klassen
XC1	trocken oder ständig nass	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden) ■ Beton, der ständig in Wasser getaucht ist
XC2	nass, selten trocken	<ul style="list-style-type: none"> ■ Teile von Wasserbehältern ■ Gründungsbauteile
XC3	mäßige Feuchte	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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
XC4	wechselnd nass und trocken	<ul style="list-style-type: none"> ■ Außenbauteile mit direkter Beregnung

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, chloridhaltigem Wasser, einschließlich Taumittel, ausgenommen Meerwasser, ausgesetzt ist, muss die Expositions-klasse nach folgender Tabelle zugeordnet werden.

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

Klassen-bezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositions-klassen
XD1	mäßige Feuchte	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen ■ Einzelgaragen
XD2	nass, selten trocken	<ul style="list-style-type: none"> ■ Solebäder ■ Bauteile, die chloridhaltigen Industrieabwässern ausgesetzt sind
XD3	wechselnd nass und trocken	<ul style="list-style-type: none"> ■ Teile von Brücken mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung ■ Fahrbahndecken ■ direkt befahrene Parkdecks ¹⁾

¹⁾ Ausführung nur mit zusätzlichen Maßnahmen (z. B. rissüberbrückende Beschichtung, s. a. DAfStb-Heft 526).

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 Expositions-klasse 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 Expositions-klassen
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

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsclassen
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

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsclassen
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 Grenzen 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	Referenzprüfverfahren	XA1	XA2	XA3
Grundwasser ¹⁾				
SO ₄ ²⁻ [mg/l] ⁶⁾	DIN EN 196-2	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3000	> 3000 und ≤ 6000
pH-Wert [-]	ISO 4316	≤ 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] ²⁾	ISO 7150-1 oder ISO 7150-2	≥ 15 und ≤ 30	> 30 und ≤ 60	> 60 und ≤ 100
Mg ²⁺ [mg/l]	ISO 7980	≥ 300 und ≤ 1000	> 1000 und ≤ 3000	> 3000 bis zur Sättigung
Boden ¹⁾				
SO ₄ ²⁻ [mg/kg] ³⁾ insgesamt	DIN EN 196-2 ⁴⁾	≥ 2000 und ≤ 3000 ⁵⁾	> 3000 ⁵⁾ und ≤ 12000	> 12000 und ≤ 24000
Säuregrad	DIN 4030-2	> 200 Bauman-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

- 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) Gülle kann, unabhängig vom NH_4^+ -Gehalt, in die Expositionsklasse XA1 eingeordnet werden.
- 3) Tonböden mit einer Durchlässigkeit von weniger als 10^{-5} m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.
- 4) Das Prüfverfahren beschreibt die Auslaugung von SO_4^{2-} durch Salzsäure; Wasser- auslaugung darf statt dessen angewandt werden, wenn am Ort der Verwendung des Betons Erfahrung hierfür vorhanden ist.
- 5) Falls die Gefahr der Anhäufung von Sulfationen im Beton – zurückzuführen auf wechselndes Trocknen und Durchfeuchten oder kapillares Saugen – besteht, ist der Grenzwert von 3000 mg/kg auf 2000 mg/kg zu vermindern.
- 6) Falls der Sulfatgehalt des Grundwassers > 600 mg/l beträgt, ist dies im Rahmen der Festlegung des Betons anzugeben.

Anmerkung: Es gilt die höchste Angriffsklasse, die aus den einzelnen chemischen Merkmalen ermittelt wurde. Wenn zwei oder mehrere angreifende Merkmale zu derselben Klasse führen, muss die Umgebung der nächsthöheren Klasse zugeordnet werden, sofern nicht in einer speziellen Studie für diesen Fall nachgewiesen wird, dass dies nicht erforderlich ist. Auf eine spezielle Studie 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 geschiebelasteten Gewässern, z. B. Tosbecken

6.2.1.8 Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Anhand der zu erwartenden Umgebungsbedingungen ist der Beton einer der vier nachfolgenden Feuchtigkeitsklassen zuzuordnen.

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

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung der Feuchtigkeitsklassen
WO	Beton, der nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt (trocken)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Innenbauteile des Hochbaus ■ Bauteile, auf die Außenluft – nicht jedoch Niederschläge, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte – einwirken können ■ Bauteile, die nicht ständig einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80 % ausgesetzt sind
WF	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist (feucht)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ungeschützte Außenbauteile mit Einwirkung von Niederschlägen, Oberflächenwasser und Bodenfeuchte ■ Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume mit einer überwiegend höheren relativen Luftfeuchte als 80 %, (z.B. Hallenbäder, Wäschereien, andere gewerbliche Feuchträume) ■ Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung (z.B. Schornsteine, Wärmeübertragerstationen, Filterkammern und Viehställe) ■ Massige Bauteile gemäß DAfStb-Richtlinie mit kleinsten Abmessungen > 0,80 m (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)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bauteile mit Meerwassereinwirkung ■ Bauteile unter Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung (z.B. Spritzwasserbereiche, Fahr- und Stellflächen in Parkhäusern) ■ Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken (z.B. Güllebehälter) mit Alkalisalzeinwirkung
WS	Beton, der Klasse WA mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (feucht + Alkalizufuhr von außen + starke dynamische Beanspruchung)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z.B. Betonfahrbahnen)

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).

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: Setzeitklassen (Vébé)

Klasse	Setzeit [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.

Tabelle 6.2.3.a: Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton

Druckfestigkeitsklasse	$f_{ck,cyl}^{1)}$ [N/mm ²]	$f_{ck,cube}^{2)}$ [N/mm ²]
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)

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/mm ²]	$f_{ck,cube}^{2)3)}$ [N/mm ²]
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 größten 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/m ³]	≥ 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 Kapitel 1)
 - nach DIN EN 197-1, DIN EN 197-4, DIN 1164-10, DIN 1164-11, DIN 1164-12 und DIN EN 14216
 - Anwendung in den Expositionsklassen siehe Tabellen 6.3.3.a bis 6.3.3.d
- Gesteinskörnungen (siehe Kapitel 2)
 - Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620
 - Folgende leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1: Lava (Lavaschlacke), Naturbims, Tuff, Blähton, Blähschiefer, Blähglas, Blähglimmer, Bläherperlit, gesinterte Steinkohlenflugasche-Pellets, Ziegelsplitt aus ungebrauchten Ziegeln und Kesselsand
 - Rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100, jedoch nur Gesteinskörnungstypen 1 und 2 (DAfStb-Richtlinie 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 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 Kapitel 2.5.). Ist für die Gesteinskörnung keine Alkaliempfindlichkeitsklasse angegeben, ist die Klasse E III anzunehmen
- Zusatzmittel (siehe Kapitel 3)
 - nach DIN EN 934-2 und DIN EN 934-1
- Zusatzstoffe (siehe Kapitel 4)
 - Typ I: Gesteinsmehl nach DIN EN 12620
Pigmente nach DIN EN 12878
 - Typ II: Flugasche nach DIN EN 450-1
Silikastaub nach DIN EN 13263-1
Trass nach DIN 51043
- Fasern (siehe Kapitel 4)
 - Stahlfasern nach DIN EN 14889-1
 - Polymerfasern nach DIN EN 14889-2 mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Zugabewasser (siehe 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 1045-3 eingebracht, verdichtet und nachbehandelt wird,
- die Mindestbetondeckung der Bewehrung (siehe Tabelle 10.1.1.b) eingehalten wird,
- die geeigneten Expositionsklassen und geeignete Feuchtigkeitsklasse 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 der Feuchtigkeitsklasse W (Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion) sind in Kapitel 2.5 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
max. w/z	–	0,75		0,65	0,60
Mindestdruckfestigkeitsklasse ²⁾	C8/10	C16/20		C20/25	C25/30
Mindestzementgehalt ³⁾ [kg/m ³]	–	240		260	280
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen ³⁾ [kg/m ³]	–	240		240	270

Fußnoten siehe Seite 95

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
max. w/z	0,55	0,50	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse ²⁾	C30/37 ⁴⁾	C35/45 ⁴⁾⁵⁾	C35/45 ⁴⁾
Mindestzementgehalt ³⁾ [kg/m ³]	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen ³⁾ [kg/m ³]	270	270	270

Fußnoten siehe Seite 95

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
max. w/z	0,55	0,50	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse ²⁾	C30/37 ⁴⁾	C35/45 ⁴⁾⁵⁾	C35/45 ⁴⁾
Mindestzementgehalt ³⁾ [kg/m ³]	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen ³⁾ [kg/m ³]	270	270	270

Fußnoten siehe Seite 95

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	XF5	XF6
max. w/z	0,60	0,55 ⁵⁾	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/m ³]	280	300	320	300	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen ³⁾ [kg/m ³]	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 Seite 95

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⁾
max. w/z	0,60	0,50	0,45
Mindestdruckfestigkeitsklasse ²⁾	C25/30	C35/45 ⁴⁾⁵⁾	C35/45 ⁴⁾
Mindestzementgehalt ³⁾ [kg/m ³]	280	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen ³⁾ [kg/m ³]	270	270	270

Fußnoten siehe Seite 95

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	XM4
max. w/z	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/m ³]	300 ¹⁰⁾	300 ¹⁰⁾	320 ¹⁰⁾	320 ¹⁰⁾
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen ³⁾ [kg/m ³]	270	270	270	270
andere Anforderungen	-	Oberflächenbehandlung ¹¹⁾	-	Hartstoffe nach DIN 1100 ¹⁴⁾

Fußnoten siehe Seite 95

- 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 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 ausgeschlossen.
- 7) Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm \geq 5,5 Vol.-%, 16 mm \geq 4,5 Vol.-%, 32 mm \geq 4,0 Vol.-% und 63 mm \geq 3,5 Vol.-% betragen. Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten.
Für Fließbeton (Konsistenzklasse \geq F4) ist der Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% zu erhöhen. Als oberer Grenzwert des Luftgehaltes gilt der festgelegte Mindestluftgehalt plus 4 Vol.-% absolut.
- 8) Erdfeuchter Beton mit w/z \leq 0,40 darf ohne Luftporen hergestellt werden.
- 9) Es dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 eingesetzt werden. Anmerkung: Die Körner aller Gesteinskörnungen sollten mäßig raue Oberfläche und gedrungene Gestalt haben. Das Gesteinskörnungsgemisch soll möglichst brockig sein.
- 10) Höchstzementgehalt 360 kg/m³, 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 (HS-Zement) verwendet werden. Siehe auch Abschnitt 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 unreinigt, 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 EN 197-4, 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 1045-2¹⁾

Expositionsklassen ■ = gültiger Anwendungsbereich □ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar			kein Korrosions-/Angriffsrisiko	Bewehrungskorrosion									Betonkorrosion									Spannstahlverträglichkeit				
				durch Karbonatisierung verursachte Korrosion					durch Chloride				verursachte Korrosion			Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
									andere Chloride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser														
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3			XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ⁴⁾	XM1	XM2	XM3				
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		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■ ²⁾	■	■	■	■	■	■	■		
	B		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■ ³⁾	■	■	■	■	■	■	■		
	C		■	□	■	□	□	□	□	□	■	□	□	□	□	□	■	■	■	□	□	□	□	□		
CEM IV ^{5) 9)}	A/B		■	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□		
CEM V ^{5) 9)}	A/B		■	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□		

Fußnoten siehe Seite 100

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 1045-2¹⁾

Expositionsklassen ■ = gültiger Anwendungsbereich □ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar			kein Korrosions-/Angriffsrisiko		Bewehrungskorrosion									Betonkorrosion									Spannstahlverträglichkeit					
					durch Karbonatisierung verursachte Korrosion					durch Chloride				verursachte Korrosion				Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
										andere Chloride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser															
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ⁴⁾	XM1	XM2	XM3								
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		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■ ⁶⁾				
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⁾		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■ ⁶⁾				
	S-LL; D-LL; P-LL; V-LL ⁹⁾ ; T-LL		■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■ ⁶⁾				

Fußnoten siehe Seite 100

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 1045-2¹⁾

Expositionsklassen ■ = gültiger Anwendungsbereich □ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar			kein Korrosions-/Angriffsrisiko		Bewehrungskorrosion									Betonkorrosion									Spannstahlverträglichkeit					
					durch Karbonatisierung verursachte Korrosion					durch Chloride				verursachte Korrosion				Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
										andere Chloride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser															
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ⁴⁾	XM1	XM2	XM3								
CEM IV	B	P ⁷⁾	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
CEM V	A/B	S-P ⁸⁾	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	□	■	■	■	■	□	□	□	□	□					

Fußnoten siehe Seite 100

Tabelle 6.3.3.d: Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 14216 zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2¹⁾

Expositionsklassen ■ = gültiger Anwendungsbereich □ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar		kein Korrosions-/Angriffsrisiko	Bewehrungskorrosion									Betonkorrosion									Spannstahlverträglichkeit				
			durch Karbonatisierung verursachte Korrosion					durch Chloride				verursachte Korrosion			Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
								andere Chloride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser														
			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3		XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾		XA3 ⁴⁾	XM1	XM2	XM3
VLH	III/B	■	□	■	□	□	□	■	□			□	■	□	□	□	■	■	■	□	□	□	□		
	III/C																								
	IV/A ⁹⁾																								
	IV/B ⁹⁾	■	□	■	□	□	□	□	□			□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□		
	V/A ⁹⁾																								
V/B ⁹⁾																									

¹⁾ Sollen Zemente, die nach dieser Tabelle nicht anwendbar sind, verwendet werden, benötigen sie eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

²⁾ Festigkeitsklasse $\geq 42,5$ oder Festigkeitsklasse 32,5 R mit einem Hüttensand-Massenanteil von $\leq 50\%$.

³⁾ CEM III/B darf nur für die folgenden Anwendungsfälle verwendet werden:

- a) Meerwasserbauteile: $w/z \leq 0,45$; Mindestfestigkeitsklasse C35/45 und $z \geq 340 \text{ kg/m}^3$
 b) Räumerlaufbahnen: $w/z \leq 0,35$; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und $z \geq 360 \text{ kg/m}^3$;
 Beachtung von DIN 19569-1.

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 (HS-Zement) verwendet werden. Siehe auch Abschnitt 4.1.3.

Anmerkung: Bis zum Vorliegen von DIN EN 197-1/A2 sind für HS-Zemente die Festlegungen in DIN 1164-10 zu beachten. Sobald DIN EN 197-1/A2 anwendbar ist, gelten die Anforderungen an HS-Zement als erfüllt, wenn nach DIN EN 197-1/A2 Zement mit hohem Sulfatwiderstand verwendet wird (CEM I-SR 3 oder niedriger, CEM III/B-SR, CEM III/C-SR).

⁵⁾ Spezielle Kombinationen können günstiger sein. Für CEM-II-M-Zemente mit drei Hauptbestandteilen s. Tabelle 6.3.3.b. Für CEM-IV- und CEM-V-Zemente mit zwei bzw. drei Hauptbestandteilen s. 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 % Glühverlust enthalten.

6.3.4 Anforderungen an den Mehlkorngehalt

Der Mehlkornanteil setzt sich zusammen aus:

- Zement
- Kornanteil der Gesteinskörnung $< 0,125 \text{ mm}$
- Betonzusatzstoff.

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

Zementgehalt ¹⁾ [kg/m ³]	Höchstzulässiger Mehlkorngehalt [kg/m ³]		
	Expositionsklassen		
	XF, XM		XO, XC, XD, XS, XA
	Größtkorn der Gesteinskörnung		
	8 mm	$\geq 16 \text{ mm}$	$\geq 8 \text{ mm}$
≤ 300	450	400 ²⁾	550
≥ 350	500	450 ²⁾	550

¹⁾ Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

²⁾ Die Werte dürfen insgesamt um max. 50 kg/m³ erhöht werden, wenn:

- der Zementgehalt 350 kg/m³ übersteigt, um den über 350 kg/m³ hinausgehenden Zementgehalt,
- ein puzzolischer Betonzusatzstoff des Typs II verwendet wird, um dessen Gehalt.

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

Zementgehalt ¹⁾ [kg/m ³]	Höchstzulässiger Mehlkorngesamt [kg/m ³]	
	Expositionsklassen XO, XC, XD, XS, XA, XF, XM	
	Größtkorn der Gesteinskörnung	
	8 mm	≥ 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, jedoch insgesamt um max. 50 kg/m³.

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

Um eine hohe Widerstandsfähigkeit des Betons gegenüber Frost- und Tausalzangriff zu erreichen, können im Beton künstliche Luftporen erzeugt werden. Dies gelingt durch Zugabe von Luftporenbildnern (LP-Bildner, siehe 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 für den Zementgehalt berücksichtigt, wird der Chloridgehalt als der Chloridionengehalt bezogen auf den Zement und die Gesamtmasse 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 Anforderung für 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 Kapitel 10.2).

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
- Betonrestmenge in der Mischertrommel vor Zugabe (geschätzt)

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 Kapitel 12.4
Unterwasserbeton für tragende Bauteile	<ul style="list-style-type: none"> ■ $w/z \leq 0,60$¹⁾ ■ Mindestzementgehalt: 350 kg/m³ (bei D_{max} 32 mm) ■ k-Wert-Ansatz für die Anrechnung von Flugasche: (in Abhängigkeit von Expositionsclassen siehe zusätzlich Tabelle 6.3.2.a bis f) ■ $z + f \geq 350 \text{ kg/m}^3$ ■ $w/z_{eq} = w/(z + 0,7 \cdot f) \leq 0,60$¹⁾ ■ Grenzwerte des Mehlkorngehaltes nach Tabelle 6.3.4.a und 6.3.4.b dürfen überschritten werden ■ Konsistenz: $\geq F3$ (ungeschockt), damit der Beton beim Einbringen als zusammenhängende Masse fließt
Beton beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	■ siehe Kapitel 12.10
Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis 250 °C	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eignung der Gesteinskörnungen für diese Beanspruchung ■ Verwendung von Gesteinskörnungen mit niedriger Wärmedehnzahl α_t, z. B. Kalkstein, Hochofenschlacke, Basalt, Diabas, Blähton ■ Nachbehandlung: mind. 7d feucht halten, danach langsame und möglichst tiefe (nicht nur an der Oberfläche) Austrocknung vor Inbetriebnahme ■ weitere Informationen siehe Heft 337, DAfStb
Hochfester Beton	■ siehe Kapitel 12.2
FrühhoCHFester Beton	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 (bei Fertigteilen und Zwischenbauteilen bis C50/60)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 Expositionsclassen niedriger sind, werden diese maßgebend.

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	<ul style="list-style-type: none"> ■ Festlegung der Eigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Festlegung der Eigenschaften ■ Erstprüfung ¹⁾ ■ Festlegung der Zusammensetzung
Hersteller	<ul style="list-style-type: none"> ■ Erstprüfung ¹⁾ ■ Festlegung der Zusammensetzung ■ Betonherstellung ■ Konformitätsprüfung ²⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Betonherstellung ■ Konformitätsprüfung ²⁾
Verwender	<ul style="list-style-type: none"> ■ Annahmeprüfung ³⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Annahmeprüfung ³⁾ ■ Konformitätsprüfung ²⁾

¹⁾ Siehe Kapitel 8

²⁾ Siehe Kapitel 7

³⁾ Siehe Kapitel 10

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
<ul style="list-style-type: none"> ■ Übereinstimmung mit DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ■ Expositionsclassen 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) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ besondere Arten oder Klassen von Zement (z. B. LH, HS, 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
<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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
<ul style="list-style-type: none"> ■ Normalbeton (bewehrt, unbewehrt) ■ Expositionsklasse (nur X0, XC1, XC2) ■ Feuchtigkeitsklasse ■ Konsistenzbezeichnung ■ Druckfestigkeitsklasse \leq C16/20 ■ Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung ■ Festigkeitsentwicklung, falls erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 von 32 mm und Zement der Festigkeitsklasse 32,5 nach DIN EN 197-1

Druckfestigkeitsklasse	Mindestzementgehalt [kg/m ³] 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 des Betonzuschlags von 16 mm
 - 20 % bei Größtkorn des Betonzuschlags von 8 mm.
- Der Zementgehalt darf verringert werden um
 - max. 10 % bei Zement der Festigkeitsklasse 42,5
 - max. 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 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 1045-3 der Konformitätsnachweis der Eigenschaften vom Verwender des Betons geführt; der Hersteller weist lediglich die Zusammensetzung des Betons nach.

Die Konformität oder Nichtkonformität 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
- w/z-Wert
- 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 Zeitraumes 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 s. Kapitel 7.2.4).

Identitätsprüfung

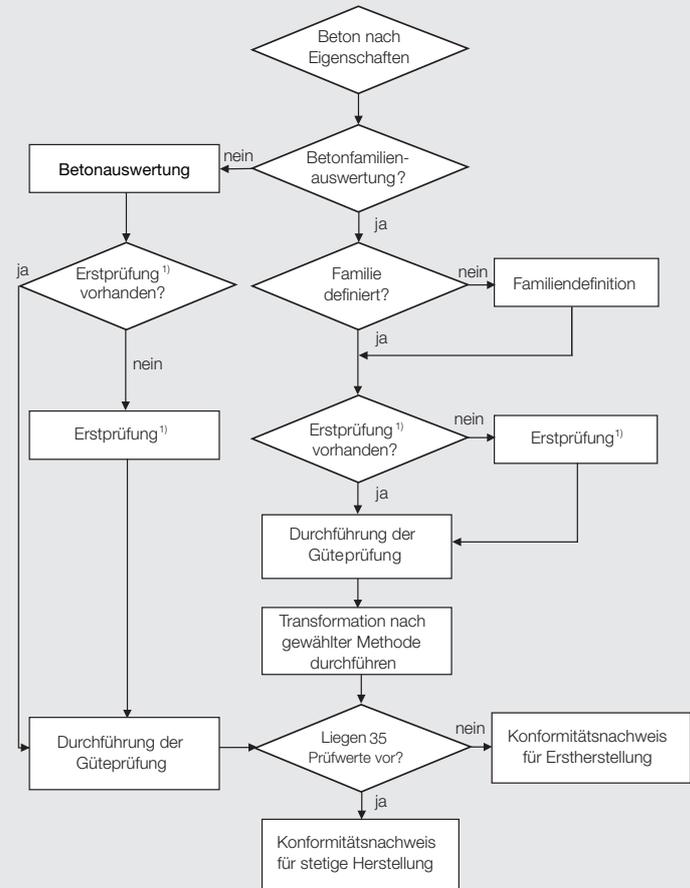
Prüfung, um zu bestimmen, ob eine gewählte Charge und Ladung einer konformen Gesamtmenge entstammen.

7.2 Konformitätskontrolle für Beton nach Eigenschaften für die Druckfestigkeit

Der Nachweiszeitraum muss innerhalb der letzten 12 Monate liegen. Die Druckfestigkeitsprüfung erfolgt in der Regel im Prüfalter von 28 d. Wenn erforderlich, ist die Festlegung früherer oder späterer Prüfalter möglich, z. B. für Beton für massige Bauteile (s. 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 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 Ersterstellung (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 Ersterstellung angewendet werden.

Tabelle 7.2.1.a: Verfahren der Konformitätskontrolle und zugehörige Nachweiskriterien

Konformitätskontrolle	Ersterstellung (Prüfergebnisse $n < 35$)	stetige Herstellung (Prüfergebnisse $n \geq 35$)
Auswertung über einen Beton	Einzelwerte des Betons (Kriterium 2)	Einzelwerte des Betons (Kriterium 2)
	Mittelwert des Betons (Kriterium 1)	Mittelwert des Betons (Kriterium 1)
Auswertung über eine Betonfamilie	Einzelwerte der Betone (ohne Transformation) (Kriterium 2)	Einzelwerte der Betone (ohne Transformation) (Kriterium 2)
	Mittelwerte eines jeden Betons in der Betonfamilie (ohne Transformation) (Kriterium 3)	Mittelwerte eines jeden Betons in der Betonfamilie (ohne Transformation) (Kriterium 3)
	Mittelwert der Betonfamilie (mit Transformation) (Kriterium 1)	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/mm ²] von „n“ Ergebnissen	Jedes einzelne Prüfergebnis f_{ck} [N/mm ²]
Ersterstellung (Prüfergebnisse $n < 35$)	3	$\geq f_{ck} + 4$ hochfester Beton: $\geq f_{ck} + 5$	$\geq f_{ck} - 4$ hochfester Beton: $\geq f_{ck} - 5$
stetige Herstellung (Prüfergebnisse $n \geq 35$)	mind. 15	$\geq f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma$ $\sigma \geq 3 \text{ N/mm}^2$ 1) hochfester Beton: $\geq f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma$ $\sigma \geq 5 \text{ N/mm}^2$ 1)	$\geq f_{ck} - 4$ hochfester Beton: $\geq 0,9 \cdot f_{ck}$

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 eines Familienmitgliedes	Kriterium 3
	Mittelwert f_{cm} [N/mm ²] von „n“ Prüfergebnissen für ein einzelnes Familienmitglied
2	$\geq f_{ck} - 1$
3	$\geq f_{ck} + 1$
4	$\geq f_{ck} + 2$
5	$\geq f_{ck} + 2,5$
6 – 14	$\geq f_{ck} + 3,0$
≥ 15	$\geq f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma$

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

Der Nachweis der Konformität darf an überlappenden oder nicht überlappenden Ergebnissen 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 Erst- und stetiger Herstellung eines Betons oder einer Betonfamilie immer durchzuführen. Der Nachweis des Kriteriums 1 für Betonfamilien erfolgt nach Transformation der Druckfestigkeiten (s. a. Abschnitt 7.2.4.1).
- Die Überprüfung von Kriterium 2 ist bei Erst- 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 Erst- 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 m ³	> 50 m ³ ¹⁾
Erstherstellung (Prüfergebnisse n < 35)	3 Proben	1 pro 200 m ³ 2 pro Produktionswoche Leichtbeton und hochfester Beton: 1 pro 100 m ³ 1 pro Produktionstag
stetige Herstellung (Prüfergebnisse n ≥ 35) ²⁾	–	1 pro 400 m ³ 1 pro Produktionswoche Leichtbeton und hochfester Beton: 1 pro 200 m ³ 1 pro Produktionswoche

1) Die Probenahme muss über die Herstellung verteilt sein; je 25 m³ sollte maximal eine Probe genommen werden.

2) Überschreitet die Standardabweichung der letzten 15 Prüfergebnisse $1,37 \cdot \sigma$, 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 Referenz-
beton

Für die Ermittlung der Druckfestigkeitsfaktoren oder -differenzen ist zunächst für jeden in der Betonfamilie erfassten Beton (Betonorte) 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
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

←
ausgewählter Referenz-
beton

7

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	3. Apr	101	C12/15	23	1,33	31	8	31
2	9. 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	2. Mai	103	C20/25	35	1,00	35	0	35
6	7. 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 Kapitel 7.2.4.1 beschrieben.

Der Nachweis der Konformität erfolgt über die Kriterien 1, 2 und 3 (Tabelle 7.2.2.a + 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 in der Betonfamilie vorhandenen Betons 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 (s. a. 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	Festigkeitsklasse	Kriterium 2 (Einzelwerte)		
				f_{ci} [N/mm ²]	$f_{ck} - 4$ [N/mm ²]	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; d. h. 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	Festigkeitsklasse	Kriterium 1 (Mittelwerte)			
				f_{ci} [N/mm ²]	f_{cm} [N/mm ²]	$f_{ck} + 4$ [N/mm ²]	erfüllt
1	9. Apr	103	C20/25	30	32	29	ja
2	25. Apr			32			
3	2. Mai			35			
4	27. Mai			31	33		ja
5	31. Mai			33			
6	4. Jun			36			

¹⁾ Bei der Erstherstellung wird der Konformitätsnachweis in einer Reihe von 3 Prüfergebnissen geführt; d. h. 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	Festigkeitsklasse	Kriterium 2 (Einzelwerte)		
				f_{ci} [N/mm ²]	$f_{ck} - 4$ [N/mm ²]	erfüllt
1	9. Apr	103	C20/25	30	21	ja
2	25. Apr			32		ja
3	2. Mai			35		ja
4	27. Mai			31		ja
5	31. Mai			33		ja
6	4. Jun			36		ja
7	9. Jun			29		ja
8	11. Jun			34		ja
9	17. Jun			35		ja
10	2. Jul			32		ja
11	5. 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	Festigkeitsklasse	Kriterium 1 (Mittelwerte)			
				f_{ci} [N/mm ²]	f_{cm} [N/mm ²]	$f_{ck} + 1,48 \sigma^{(1)}$ [N/mm ²]	erfüllt
1	9. Apr	103	C20/25	30	33	29	ja
2	25. Apr			32			
3	2. Mai			35			
4	27. Mai			31			
5	31. Mai			33			
6	4. Jun			36			
7	9. Jun			29			
8	11. Jun			34			
9	17. Jun			35			
10	2. Jul			32			
11	5. Jul			36			
12	13. Jul			31			
13	16. Jul			30			
14	25. Jul			35			
15	30. Jul			33			

¹⁾ $\sigma = 3 \text{ N/mm}^2$

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/mm ²]	$f_{ck} - 4$ [N/mm ²]	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 Ersterstellung wird der Konformitätsnachweis in einer Reihe von 3 Prüfergebnissen geführt; d. h. 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/mm ²]	Kriterium 3 ²⁾			
					n ³⁾	f_{cm} Beton Nr. K [N/mm ²]	Kriterium 3 [N/mm ²]	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 Ersterstellung wird der Konformitätsnachweis in einer Reihe von 3 Prüfergebnissen geführt; d. h. 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 eines Familienmitgliedes

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/mm ²]	Kriterium 1				
					Differenz Beton-Nr. K ²⁾	$f_{ci,trans}$ [N/mm ²]	f_{cm} [N/mm ²]	$f_{ck} + 4$ [N/mm ²]	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 Ersterstellung wird der Konformitätsnachweis in einer Reihe von 3 Prüfergebnissen geführt; d. h. 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. Der Nachweis von Kriterium 2 erfolgt 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/mm ²]						
		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/mm ²]		24	32	32	–	41	38	37
Kriterium 3		≥ 14	≥ 24	≥ 27	–	≥ 36	≥ 24	≥ 24
Familienzugehörigkeit		ja	ja	ja	–	ja	ja	ja

¹⁾ Es erfolgt keine Transformation der Werte.

²⁾ Kumulierte Anzahl „n“ der Prüfwerte für die Druckfestigkeit eines Familienmitgliedes.

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

Nr. i	Datum	Beton Nr. K	Festigkeitsklasse	f _{ci} [N/mm ²]	Kriterium 1			erfüllt	
					Differenz Beton Nr. K ¹⁾	f _{ci,trans} [N/mm ²]	ermittelte Werte [N/mm ²]		f _{ck} + 1,48 σ [N/mm ²]
1	3. Apr	101	C12/15	23	8	31	f _{cm} = 32 σ = 3,12 ²⁾ s ₁₅ = 3,02 ³⁾	29	ja
2	9. 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	2. Mai	103	C20/25	35	0	35			
8	7. Mai	101	C12/15	25	8	33			
9	12. Mai	107	C20/25	36	-3	33			
10	16. Mai	106	C20/25	40	-6	34			
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	3. Jun	106	C20/25	36	-6	30			

¹⁾ Siehe Tabelle 7.2.4.1.b

²⁾ Standardabweichung σ aus ≥ 35 aufeinanderfolgenden Prüfergebnissen; σ muss ≥ 3 N/mm² sein.

³⁾ Verifizierung der Standardabweichung σ:
Bedingung: 0,63 · σ ≤ s₁₅ ≤ 1,37 · σ mit s₁₅ = Standardabweichung der 15 Prüfergebnissen des Konformitätsnachweises.

7.3 Konformitätskontrolle für Beton nach Zusammensetzung einschließlich Standardbeton

Für Beton nach Zusammensetzung einschließlich Standardbeton ist der Hersteller ausschließlich 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 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.
- bei Betonen, die durch Interpolation bekannter Betonzusammensetzungen oder Extrapolation der Druckfestigkeiten um nicht mehr als 5 N/mm² gewonnen werden.
- bei Betonen, die innerhalb der durch eine Erstprüfung abgedeckten oberen und unteren Grenzwerte der Variationsbereiche der Betonzusammensetzung nach 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

8.2 Herstellen des Betons

8.2.1 Mischen des Betons

Erforderliche Dosierungsgenauigkeit:

- Für alle Ausgangsstoffe: $\pm 3 \%$

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: ≥ 1 min/m³, mindestens 5 min

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 Expositionsklassen

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

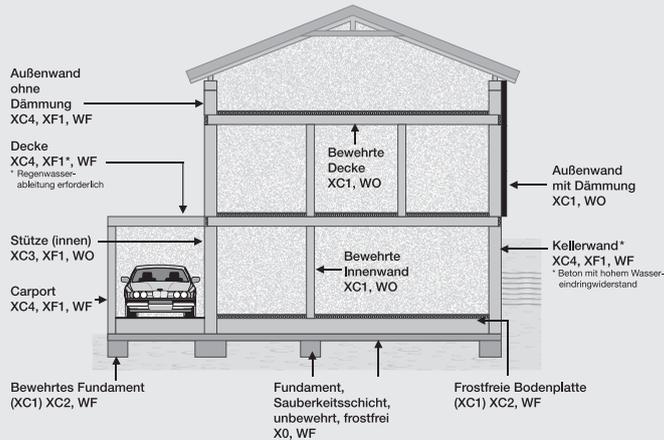


Abbildung 9.1.1.b: Betonbauteile im Industrie- und Verwaltungsbau

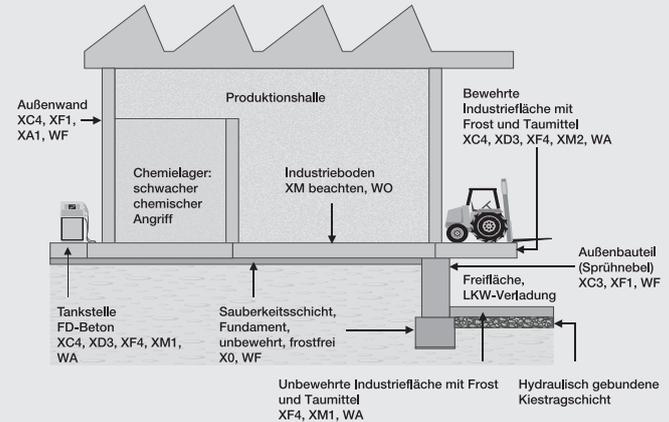
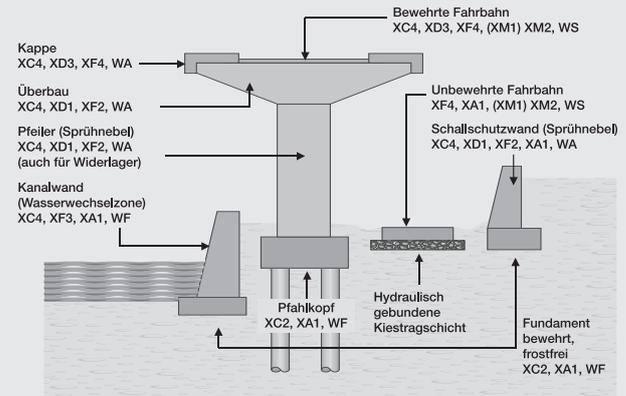


Abbildung 9.1.1.c: Betonbauteile im Ingenieurbau



Boden: chemisch schwach angreifend

9.1.2 Beispiele zur Festlegung der Grenzwerte für die Beton-zusammensetzung

Im Anschluss an die Zuordnung der Expositionsclassen zu einem Bauteil (Beispiele siehe Kapitel 9.1.1) sind die jeweiligen Grenzwerte für die Betonzusammensetzung in Abhängigkeit von den zugeordneten Expositionsclassen zu ermitteln (siehe Tabelle 6.3.2.a bis f). In Abhängigkeit von der Feuchtigkeitsklasse (siehe Alkali-Kieselsäure-Reaktion, Kapitel 2.5) sind ggf. 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

Expositionsclassen	XC4	XF1
max. w/z	0,60	0,60
Mindestdruckfestigkeitsklasse	C25/30	C25/30
Mindestzementgehalt [kg/m ³]	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 F₄: Abwitterung nach DIN EN 1367-1 ≤ 4 M.-%

Tabelle 9.1.2.b: Beispiel 2: Offenes Parkdeck

Expositionsclassen	XC4	XD3	XF4	XM1
max. w/z	0,60	0,45	0,5 ³⁾	0,55
Mindestdruckfestigkeitsklasse	C25/30	C35/45 ²⁾	C30/37	C30/37 ²⁾
Mindestzementgehalt [kg/m ³]	280 (270) ¹⁾	320 (270) ¹⁾	320 (270) ¹⁾³⁾	300 ⁶⁾ (270) ¹⁾
Mindestluftgehalt [Vol.-%]	–	–	4)	–
Gesteinskörnungen	Regelanforderungen und zusätzlich			
	–	–	MS ₁₆ 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 des Zuschlaggemisches 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) MS₁₆: Masseverlust nach DIN EN 1367-2 ≤ 18%

⁶⁾ Höchstzementgehalt 360 kg/m³, jedoch nicht bei hochfestem Beton.

⁷⁾ Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620. Die Körner aller Gesteinskörnungen sollen mäßig raue Oberfläche und gedrungene Gestalt haben. Das Gesteinskörnungsmisch soll möglichst grobkörnig sein.

Für Parkdecks ist weiterhin zu beachten:

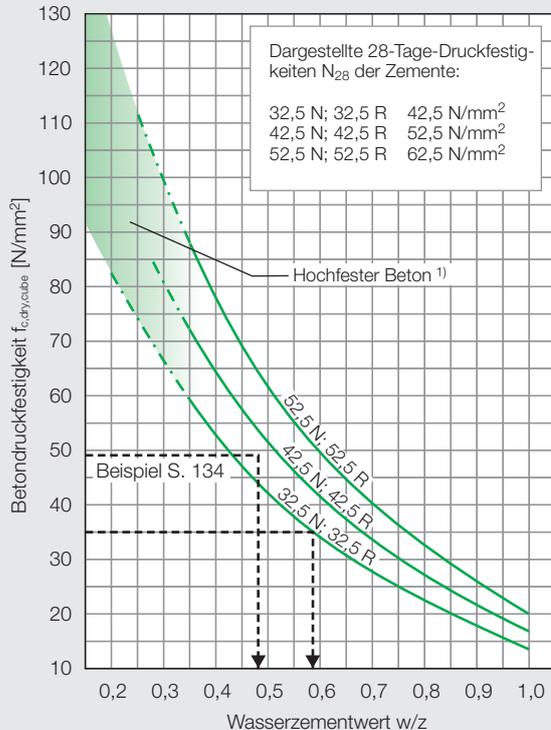
- Die Ausführung direkt befahrener Parkdecks ist nur mit zusätzlichem Oberflächenschutzsystem (z. B. rissüberbrückende Beschichtung) zulässig (siehe DIN 1045-1).
- Falls die Beschichtungsmaßnahme so ausgeführt und instandgehalten wird, dass die Umwelteinflüsse dauerhaft vom Bauteil ferngehalten werden (projektbezogener Wartungsplan erforderlich), sind folgende Veränderungen in den Zuordnungen der Expositionsclassen nach DAFStb-Heft 526 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 Expositionsclassen (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 Zementnormdruckfestigkeit an Bedeutung.

Beispiel

Gegeben: CEM I 32,5 R mit $N_{28} = 42,5 \text{ N/mm}^2$

Gesucht: Wasserzementwert w/z für $f_{c,dry,cube} = 35 \text{ N/mm}^2$

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 Zuschlagfeuchte):

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

- z - Zementgehalt [kg/m³]
- f - Zusatzstoffgehalt (z. B. Flugasche, Silikastaub, 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]

Erstes Beispiel

Gegeben:

- Zementgehalt z = 300 kg/m³ CEM I 42,5 R $\rho_z = 3,1 \text{ kg/dm}^3$
- Zusatzstoffgehalt f = 60 kg/m³ Flugasche $\rho_f = 2,3 \text{ kg/dm}^3$
- Wassergehalt w = 170 kg/m³ $\rho_w = 1,0 \text{ kg/dm}^3$
- Luftporen p = 1,5 Vol.-%
- Rohdichte der Gesteinskörnung $\rho_g = 2,6 \text{ kg/dm}^3$

Gesucht:

Gehalt an Gesteinskörnung g pro m³

Lösung:

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

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

Zweites Beispiel

Gegeben:

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

Gesucht:

Betonzusammensetzung für 1 m^3 verdichteten Frischbeton in der Erstprüfung:

- w/z
- Wassergehalt w
- Zementgehalt z
- Gesteinskörnung g

Lösung:

1. Wasserzementwert w/z :

Für C30/37 gilt:

- Berücksichtigung Vorhaltemaß: $f_{cm,cube} \geq f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2$
 $f_{cm,cube} \geq 37 + 8 = 45 \text{ N/mm}^2$
- Einfluss aus Probekörperlagerung: $f_{c,cube} = 0,92 \cdot f_{c,dry,cube}$
(s. Tabelle 11.2.2.a)
 $f_{c,dry,cube} \geq 45 / 0,92 = 48,9 \text{ N/mm}^2$
- gewählte Druckfestigkeit: $f_{c,dry,cube} = 49 \text{ N/mm}^2$
- Aus Abbildung 9.2.a Walz-Kurve folgt: $w/z = 0,48$

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:

$$w = 175 \text{ kg/m}^3$$

3. Zementgehalt z :

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

4. Gehalt an Gesteinskörnung:

Aus der Stoffraumgleichung folgt bei Berücksichtigung von 1,5 Vol.-% Luftporen ($15 \text{ dm}^3/\text{m}^3$):

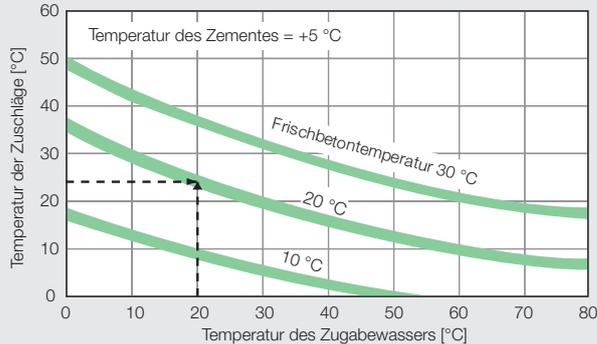
$$1000 = \frac{365}{3,05} + \frac{175}{1,0} + \frac{g}{2,6} + 15$$

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

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 $+5 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 = 25 °C

Lösung: Ablesewert Abbildung 9.4.a = 20 °C
 Korrektur Zementtemperatur = 2 °C
 Frischbetontemperatur = 20 + 2 = 22 °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/m³]

$c = 0,84$ - 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

$$z = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 1900 \text{ kg/m}^3$$

$$w = 175 \text{ kg/m}^3$$

Lösung: $T_b = \frac{0,84 \cdot (300 \cdot 25 + 1900 \cdot 23) + 4,2 \cdot 175 \cdot 20}{0,84 \cdot (300 + 1900) + 4,2 \cdot 175} = 22 \text{ °C}$

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:

$$\text{für } d \leq 3,50 \text{ m: } t_{\max} \approx d + 0,5 \text{ Tage}$$

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

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:

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

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:

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

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

Q_{Bet} - Wärmekapazität/(m³ Beton):

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

z, f, g, w - Gehalt an Zement, Zusatzstoff, Gesteinskörnung und Wasser [kg/m³]

$c = 0,84$ - 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 _z [kJ/kg]	
	1	3	7	28	Portlandzement	Portlandhütten- und Hochofenzement
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:

$z = 300 \text{ kg/m}^3$
 $w = 150 \text{ kg/m}^3$
 $g = 1900 \text{ kg/m}^3$

$T_b = 20 \text{ °C}$
 $d = 2,0 \text{ m}$
 CEM III/B 32,5, N-LH/HS

Gesucht:

Maximaltemperatur T_{max} im Kern des Bauteils?

Lösung:

1. Zeitpunkt des Temperaturmaximums im Beton

$$t_{\text{max}} \approx 2,0 + 0,5 = 2,5 \text{ Tage} \approx 3 \text{ Tage}$$

2. Hydratationswärme des Zementes nach 3 Tagen nach Tabelle 9.5.a:

$$H_{\text{Zem}}(3) = 175 \text{ kJ/kg}$$

3. Wärmekapazität/(m³ Beton)

$$Q_{\text{Bet}} = c \cdot (z + g) + c_w \cdot w = 0,84 \cdot (300 + 1900) + 4,2 \cdot 150 = 2478 \text{ kJ}/(\text{m}^3\text{K})$$

4. Temperaturanstieg im Kern des Betons

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

5. Zu erwartende Kerntemperatur nach 3 Tagen

$$T_{\text{max}} \approx T_b + \Delta T_{\text{Kern}} = 20 + 21 = 41 \text{ °C}$$

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 $\geq 41 - 15 = 26 \text{ °C}$ betragen muss. Dies kann z. B. durch Abdecken mit wärmedämmendem Material realisiert 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 Volumenverringering von Zementstein bzw. Beton/Mörtel wird als Schwinden bezeichnet. Grundsätzlich werden für Zementstein folgende Schwindprozesse unterschieden:

- Plastisches Schwinden (Kapillar- oder Frühschwinden):

Die vor dem Erhärtungsbeginn entstehende Volumenverringering 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 dadurch, dass Wasser chemisch in die Hydratationsprodukte eingebunden wird und chemisch gebundenes Wasser ein um ca. 25 % geringeres Volumen als „freies Wasser“ hat. Autogenes Schwinden bezeichnet eine Volumenverringerng durch innere Selbstaustrocknung mit fortschreitender Hydratation des Zementsteins.

$$V_{\text{Zement}} + V_{\text{Wasser}} > V_{\text{Hydratationsprodukt}}$$

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 hauptsächlich 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 1045-1, 9.1.4.

Quellen

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

9.6.2 Kriechen

Die Volumenänderung 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 1045-1, 9.1.4. bei zeitlich konstanter kriecherzeugender Spannung wie folgt berechnet werden:

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

mit

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

σ_c – kriecherzeugende Betonspannung [N/mm²]

E_{CO} – Elastizitätsmodul des Betons [N/mm²]

t_0 – Betonalter bei Belastungsbeginn [d]

Anhaltswerte für die Endkriechzahl enthält Tabelle 9.6.3.a. Genaue Berechnung nach DIN 1045-1, 9.1.4.

9.6.3 Temperaturdehnung

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

Berechnung der Temperaturdehnung:

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

Tabelle 9.6.3.a: Anhaltswerte für Formänderungen von Normalbeton

Größe	Symbol	Anhaltswerte
Endschwindmaß	ε_{sz}	$0,1 \cdot 10^{-3}$ bis $0,5 \cdot 10^{-3}$ bzw. 0,1 bis 0,5 mm/m
Endkriechzahl	φ_{sz}	1,5 bis 4,0
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 w/z-Wert, der Betonfestigkeit und von Lagerung und Alter ab.

Berechnung der elastischen Verformung:

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

σ - Spannung [N/mm²]

E_b - Elastizitätsmodul (E-Modul) des Betons [N/mm²]

Die in Tabelle 9.6.4.a angegebenen Werte für den E-Modul sind lediglich Richtwerte nach DIN 1045-1. Für Verformungsberechnungen ist der Sekantenmodul E_{cm} , ggf. 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 Spannung, kann es deshalb erforderlich sein, für die Bemessung tatsächliche Prüfwerte zu verwenden.

Tabelle 9.6.4.a: Elastizitätsmodul von Normalbeton nach DIN 1045-1

Druckfestigkeitsklasse	$f_{ck,cyl}^{1)}$	$f_{ck,cube}^{2)}$	$E_{c0m}^{3) 4)}$	$E_{cm}^{5) 6)}$
	N/mm ²			
C12/15	12	15	25800	21800
C16/20	16	20	27400	23400
C20/25	20	25	28800	24900
C25/30	25	30	30500	26700
C30/37	30	37	31900	28300
C35/45	35	45	33300	29900
C40/50	40	50	34500	31400
C45/55	45	55	35700	32800
C50/60	50	60	36800	34300
C55/67	55	67	37800	35700
C60/75	60	75	38800	37000
C70/85	70	85	40600	39700
C80/95	80	95	42300	42300
C90/105	90	105	43800	43800
C100/115	100	115	45200	45200

Fußnoten auf der nächsten Seite ►

- 1) $f_{ck,cyl}$ - charakteristische Druckfestigkeit des Betons, geprüft am Zylinder nach 28 d
- 2) $f_{ck,cube}$ - charakteristische Druckfestigkeit des Betons, geprüft am Würfel nach 28 d
- 3) E_{c0m} - mittlerer Elastizitätsmodul von Normalbeton als Tangente im Ursprung der Spannungs-Dehnungs-Linie
- 4) $E_{c0m} = 9500 (f_{ck,cyl} + 8)^{1/3}$ [N/mm²]
- 5) E_{cm} - mittlerer Elastizitätsmodul von Normalbeton als Sekante bei $\sigma \approx 0,4 \cdot f_{cm}$ mit $f_{cm} = f_{ck,cyl} + 8$
- 6) $E_{cm} = \alpha_t \cdot E_{c0m}$ mit $\alpha_t = (0,8 + 0,2 f_{cm}/88) \leq 1,0$

Für Leichtbeton gilt nachfolgende Gleichung:

$$E_{lc0m} = \eta_E \cdot E_{c0m} \text{ bzw. } E_{lcm} = \eta_E \cdot E_{cm}$$

E_{c0m} bzw. E_{cm} - Elastizitätsmodul nach Tabelle 9.6.4.a

η_E - Koeffizient zur Berücksichtigung der Rohdichte
 $\eta_E = (\rho/2200)^2$ mit ρ 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:

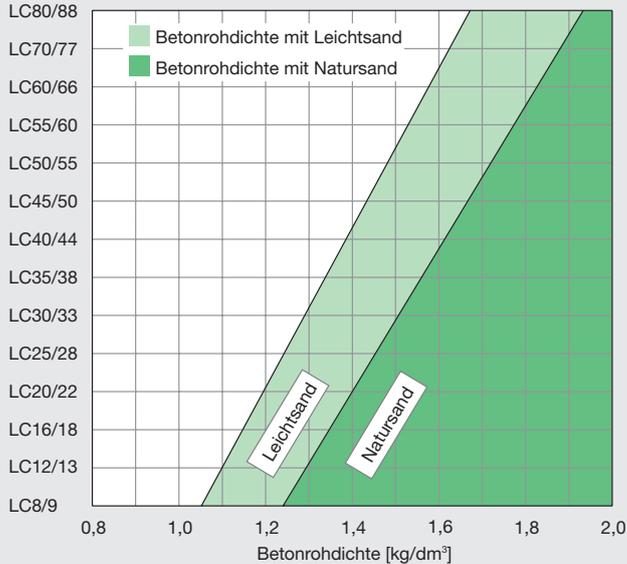
$$\Delta l = l \left[\frac{\sigma}{E} (1 + \varphi_{\infty}) + \varepsilon_{S\infty} + \alpha_T \cdot \Delta T \right]$$

- Δl - Längenänderung (Verkürzung -, Verlängerung +) [mm]
 l - Länge des Bauteils [mm]
 σ - Spannung (Druck -, Zug +) [N/mm²]
 E - Elastizitätsmodul [N/mm²]
 φ_{∞} - Endkriechzahl [-]
 $\varepsilon_{S\infty}$ - 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 Betonrohddichte und Druckfestigkeit. Für übliche Betonzusammensetzungen kann aus Abbildung 9.7.a der Zusammenhang zwischen Betonrohddichte und Druckfestigkeit abgeschätzt werden.

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



10 Bauausführung

10.1 Betonausführung

10.1.1 Betondeckung der Bewehrung nach DIN 1045-1

Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Stahlbeton legt DIN 1045-1 Anforderungen an die Betondeckung der Bewehrung fest.

Aufgabe der Betondeckung:

- Sicherung des Verbundes zwischen Bewehrung und Beton
- Schutz der Bewehrung gegen Korrosion
- Schutz der Bewehrung gegen Brandeinwirkung

Anforderungen an die Betondeckung:

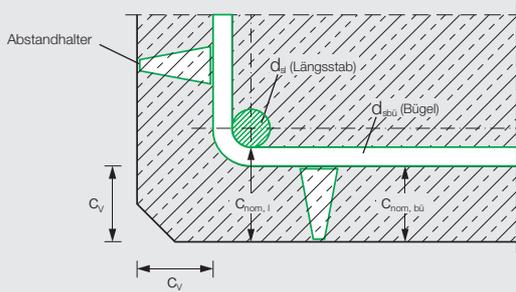
- Nennmaß = Mindestmaß + Vorhaltemaß

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c$$
- Einhaltung des Verlegemaßes c_v , das für jedes Bewehrungselement das Nennmaß sicherstellt (siehe Abbildung 10.1.1.a)

Tabelle 10.1.1.a: Begriffe

Begriff	Definition
Betondeckung	■ Abstand zwischen der Oberfläche eines Bewehrungsstabes und der nächstgelegenen Betonoberfläche
c_{min}	■ Mindestbetondeckung ■ Kontrollmaß am erhärteten Bauteil
Δc	■ Vorhaltemaß der Betondeckung zur Berücksichtigung unplanmäßiger Abweichungen ■ Zur Gewährleistung von c_{min} im erhärteten Bauteil
c_{nom}	■ Nennmaß der Betondeckung
c_v	■ Verlegemaß der Bewehrung $c_v \geq c_{\text{nom}}$ (siehe Abbildung 10.1.1.a) ■ Angabe auf Bewehrungszeichnung erforderlich ■ maßgebend für die statische Bauteilbemessung (Nutzhöhe d)
d_s	■ Stabdurchmesser der Betonstahlbewehrung
d_{sV}	■ Vergleichsdurchmesser der Bewehrung eines Stabbündels
d_p	■ Nenndurchmesser der Litze oder des Drahtes bei Spanngliedern

Abbildung 10.1.1.a: Betondeckung der Bewehrung



Verlegemaß nach DIN 1045-1: $c_v \geq c_{\text{nom, bü}}$
 $\geq c_{\text{nom, l}} - d_{\text{sbü}}$

Tabelle 10.1.1.b: Betondeckung der Bewehrung in Abhängigkeit von der Expositions-kategorie¹⁾

Expositions-kategorie	Mindestbetondeckung c_{min} [mm]		Vorhalte-maß Δc [mm]	Nennmaß $c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c$ [mm]	
	Betonstahl	Spannglieder im sofortigen und nachträglichen Verbund ²⁾		Betonstahl	Spannglieder im sofortigen und nachträglichen Verbund ²⁾
XC1	10	20	10	20	30
XC2	20	30	15	35	45
XC3	20	30	15	35	45
XC4	25	35	15	40	50
XD1	40	50	15	55	65
XD2					
XD3 ³⁾					
XS1	40	50	15	55	65
XS2					
XS3					

Fußnoten auf der nächsten Seite ►

- Bei mehreren zutreffenden Expositions-klassen für ein Bauteil ist jeweils die Expositions-kategorie mit der höchsten Anforderung maßgebend. Erhöhung bzw. Verminderung der Betondeckung siehe DIN 1045-1.
- Die Mindestbetondeckung bezieht sich bei Spanngliedern im nachträglichen Verbund auf die Oberfläche des Hüllrohrs.
- Im Einzelfall können besondere Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Bewehrung notwendig sein.

Zusätzliche ausgewählte Anforderungen an die Betondeckung:

- Mindestbetondeckung zur Sicherung des Verbundes
 - $c_{\text{min}} \geq d_s$ oder d_{sv}
 - $c_{\text{min}} \geq 2,5 \cdot d_p$ (Litze) oder $\geq 3,0 \cdot d_p$ (gerippter Draht mit sofortigem Verbund)
 - $c_{\text{min}} \geq$ der äußere Hüllrohrdurchmesser eines Spanngliedes mit nachträglichem Verbund
- Mindestbetondeckung bei Leichtbeton
 - Werte nach Tabelle 10.1.1.b und
 - $c_{\text{min}} \geq$ Durchmesser des Größtkorns der leichten Gesteinskörnung + 5 mm (außer XC1)
- Mindestbetondeckung bei Verschleißbeanspruchung, wenn die zusätzlichen Anforderungen nach DIN 1045-2 an die Gesteinskörnungen nicht berücksichtigt werden
 - XM1: c_{min} (Tabelle 10.1.1.b) + 5 mm
 - XM2: c_{min} (Tabelle 10.1.1.b) + 10 mm
 - XM3: c_{min} (Tabelle 10.1.1.b) + 15 mm

10

10.1.2 Fördern und Verarbeiten des Betons nach DIN 1045-3

Beim Fördern und Verarbeiten von Transportbeton ist u. a. zu beachten:

- Bei Übergabe muss der Beton die vereinbarte Konsistenz aufweisen.
- 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 ist zu berücksichtigen.

- Der Frischbeton ist vor schädlichen Witterungseinflüssen zu schützen.
- Der Beton darf bei Transport und Einbau nicht mit Leichtmetall (Aluminium) in Berührung kommen (z. B. Ladeflächen von Fahrzeugen, Pumpenrohre).

10.2 Frischbetontemperatur

Die Frischbetontemperatur darf im allgemeinen +30 °C nicht überschreiten, sofern nicht durch geeignete Maßnahmen sichergestellt ist, dass keine nachteiligen Folgen zu erwarten sind. Für das Betonieren in der kalten Jahreszeit gelten die Angaben der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 10.2.a: Erforderliche Frischbetontemperaturen bei niedrigen Außentemperaturen

Lufttemperatur[°C]	Mindesttemperatur des Frischbetons beim Einbau [°C]
+5 bis -3	+5 allgemein +10 bei Zement < 240 kg/m ³ 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.

10.3 Gefrierbeständigkeit

Gegen Niederschlag geschützter junger Beton darf erst dann durchfrieren, wenn er eine Druckfestigkeit von $f_{cm} = 5 \text{ N/mm}^2$ erreicht hat oder seine Temperatur wenigstens 3 Tage +10 °C nicht unterschritten hat.

Tabelle 10.3.a: Erforderliche Erhärtungszeit zum Erreichen des ausreichenden Gefrierwiderstandes von Beton (Anhaltswerte)

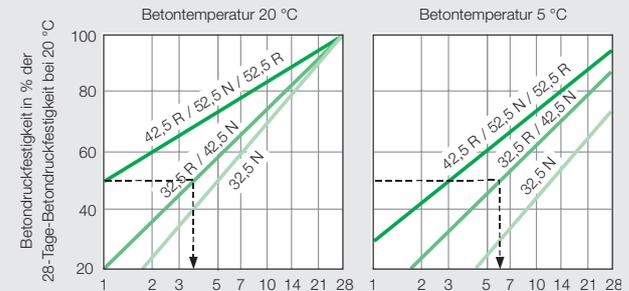
Zementfestigkeitsklasse	w/z-Wert	Erforderliche Erhärtungszeit in Tagen bei einer Betontemperatur von		
		5 °C	12 °C	20 °C
52,5 N; 52,5 R; 42,5 R	0,40	0,5	0,25	0,25
	0,60	0,75	0,5	0,5
42,5 N; 32,5 R	0,40	1	0,75	0,5
	0,60	2	1,5	1
32,5 N	0,40	2	1,5	1
	0,60	5	3,5	2

10.4 Festigkeitsentwicklung in Abhängigkeit von der Betontemperatur

Erstarren und Erhärten des Zementes sind temperaturabhängig. Niedrige Temperaturen verzögern, hohe Temperaturen beschleunigen den Hydratationsfortschritt. 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 10.4.a: Anhaltswerte für die Entwicklung der Betondruckfestigkeit bei 20 °C und 5 °C Lagerungstemperatur in Abhängigkeit vom verwendeten Zement



10.5 Ausschalfrieten

Bauteile dürfen entschalt werden, wenn der Beton ausreichend erhärtet ist. DIN 1045-3 gibt keine Richtwerte für Ausschalfrieten an. Erfahrungswerte enthält Tabelle 10.5.a.

Tabelle 10.5.a: Erfahrungswerte für Ausschalfrieten aus DIN 1045:1988-07

Festigkeitsklasse 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 Ausschalfrieten ergeben.

10.6 Nachbehandlung und Schutz des Betons

10.6.1 Allgemeines

Beton ist in den oberflächennahen Bereichen solange gegen schädigende Einflüsse, z. B. Austrocknen und starkes Abkühlen, zu schützen, bis eine ausreichende Festigkeit erreicht ist.

10.6.2 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 (Besprühen, Fluten)
- Aufsprühen von Nachbehandlungsmitteln mit nachgewiesener Eignung (unzulässig in Arbeitsfugen und bei später zu beschichtenden Oberflächen; Ausnahme: Eignungsnachweis oder Entfernung von der Betonoberfläche)

10.6.3 Nachbehandlungsdauer

Ohne genaueren Nachweis der Festigkeit richtet sich die Dauer der Nachbehandlung nach der Expositionsklasse, der Oberflächentemperatur und der Festigkeitsentwicklung des Betons.

Tabelle 10.6.3.a: Nachbehandlungsdauer

Expositions-klasse	erforderliche Festigkeit im oberflächennahen Bereich	Minstdauer der Nachbehandlung
X0, XC1	-	0,5 Tage ¹⁾²⁾
alle außer X0, XC1, XM	$0,5 \cdot f_{ck}$	Minstdauer gemäß Tabelle 10.6.3.b
XM	$0,7 \cdot f_{ck}$	Minstdauer gemäß Tabelle 10.6.3.b verdoppeln

1) NB-Zeit bei Verarbeitbarkeitszeit > 5 Std. angemessen verlängern.

2) NB-Zeit bei Temperaturen < 5 °C um die Zeitdauer verlängern, während der die Temperaturen < 5 °C lagen.

Tabelle 10.6.3.b: Minstdauer der Nachbehandlung von Beton in Tagen ¹⁾ (alle Expositions-klassen außer X0, XC1 und XM)

Oberflächentemperatur ϑ [°C] ²⁾	Nachbehandlungsdauer ³⁾⁴⁾ [d]			
	$r \geq 0,50$	$r \geq 0,30$	$r \geq 0,15$	$r < 0,15$
≥ 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 Std. angemessen verlängern.

2) Anstelle der Oberflächentemperatur des Betons darf die Lufttemperatur angesetzt werden.

3) $r = f_{cm2} / f_{cm28d}$, 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 bei Temperaturen < 5 °C um die Zeitdauer verlängern, während der die Temperaturen < 5 °C lagen.

Für die Expositions-klassen XC2, XC3, XC4 und XF1 können anstelle der Werte von Tabelle 10.6.3.b die erforderlichen Nachbehandlungsdauern nach Tabelle 10.6.3.c gewählt werden. Bei Stahlschalung oder bei ungeschalteten Oberflächen darf Tabelle 10.6.3.c nur angewendet

werden, wenn ein übermäßiges Auskühlen des Betons im Anfangsstadium der Erhärtung durch entsprechende Schutzmaßnahmen ausgeschlossen wird.

Tabelle 10.6.3.c: Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton in Tagen¹⁾ 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 Std. angemessen verlängern.

²⁾ $r = f_{cm2} / f_{cm28}$, 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.

10.7 Überwachungsprüfungen durch das ausführende 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 1045-3“ zu kennzeichnen.

10.7.1 Überwachungsklassen für Beton

Tabelle 10.7.1.a: Überwachungsklassen

Gegenstand	Überwachungsklasse		
	1	2 ¹⁾	3 ¹⁾
Festigkeitsklasse für Normal- und Schwerbeton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2			
	$\leq C25/30$ ²⁾	$\geq C30/37$ und $\leq C50/60$	$\geq C55/67$
Festigkeitsklasse für Leichtbeton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 in Abhängigkeit von der Rohdichteklasse			
D1,0 - D1,4	nicht anwendbar	$\leq LC25/28$	$\geq LC30/33$
D1,6 - D2,0	$\leq LC25/28$	LC30/33 und LC35/38	$\geq LC40/44$
Expositionsklasse nach DIN 1045-2			
	X0, XC, XF1	XS, XD, XA, XM ³⁾ , XF2, XF3, XF4	-
Besondere Betoneigenschaften			
	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ Beton für wasserundurchlässige Baukörper (z. B. Weiße Wannen)⁴⁾ ■ Unterwasserbeton ■ Beton für hohe Gebrauchstemperaturen $T \leq 250$ °C ■ Strahlenschutzbeton (ausgenommen KKW) ■ Für besondere Anwendungsfälle sind die jeweiligen DAfStb-Richtlinien anzuwenden. 	-

¹⁾ Wird Beton der Überwachungsklassen 2 und 3 eingebaut, muss die Überwachung durch das Bauunternehmen zusätzlich die Anforderungen von Anhang B (DIN 1045-3) erfüllen und eine Überwachung durch eine dafür anerkannte Überwachungsstelle nach Anhang C (DIN 1045-3) 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 die Überwachungsklasse 1 eingeordnet werden, wenn der Baukörper maximal nur zeitweilig aufstauendem Sickerwasser ausgesetzt ist und wenn in der Projektbeschreibung nichts anderes festgelegt ist.

10.7.2 Überwachung von Beton nach Eigenschaften

Tabelle 10.7.2.a: Prüfhäufigkeiten für Beton nach Eigenschaften

Prüfgegenstand	Mindestprüfhäufigkeit für Überwachungsklasse		
	1	2	3
Lieferschein	■ jedes Lieferfahrzeug	■ jedes Lieferfahrzeug	■ jedes Lieferfahrzeug
Konsistenzmessung 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	■ jedes Lieferfahrzeug
Druckfestigkeit an in Formen hergestell- ten 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	
Andere Eigen- schaften	■ 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.

²⁾ Prüfung muss für jeden verwendeten Beton erfolgen. Betone mit gleichen Ausgangsstoffen und gleichem Wasserzementwert 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 10.7.2.b: Annahmekriterien für die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung¹⁾ der Baustelle (Beton nach Eigenschaften – Transportbeton)

Anzahl „n“ der Einzelwerte	Mittelwert ²⁾ f_{cm} [N/mm ²]	Jeder Einzelwert f_{ci} [N/mm ²]	
		ÜK 1 und 2	ÜK 3
3 bis 4	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1$	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$	$\geq 0,9 f_{ck}$
5 bis 6	$f_{cm} \geq f_{ck} + 2$		
> 6	$f_{cm} \geq f_{ck} + (1,65 - 2,58/n^{0,5}) \cdot \sigma^{3)}$		

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 ($n \geq 3$) aufgeteilt werden. Die Annahmekriterien werden entsprechend der gewählten Anzahl „n“ angewendet.

³⁾ Bei Stichproben $6 < n < 35$ gilt $\sigma = 4$ N/mm²; bei Stichproben $n \geq 35$ gilt: $\sigma \geq 3$ N/mm² für ÜK 2 und $\sigma \geq 5$ N/mm² für ÜK 3.

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 10.7.2.b erfüllt werden.

10.7.3 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 Kapitel 7.2.2 der Betontechnischen Daten).

Tabelle 10.7.3.a: Prüfhäufigkeiten für Beton nach Zusammensetzung

Prüfgegenstand	Mindestprüfhäufigkeit für Überwachungs-klasse		
	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		
Frischbetonroh-dichte 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	
Andere Eigenschaften	■ in Übereinstimmung mit Normen, Richtlinien oder wie vorab vereinbart		

¹⁾ Zusätzlich Augenscheinprüfung der Konsistenz als Stichprobe für die Überwachungs-klasse 1 und an jeder Mischung bzw. an jedem Lieferfahrzeug für die Überwachungs-klassen 2 und 3.

10.7.4 Häufigkeit der Prüfungen an Standardbeton

- Lieferschein: jedes Lieferfahrzeug
- Gleichmäßigkeit des Betons: stichprobenartig nach Augenschein
- Konsistenz: stichprobenartig nach Augenschein, Konsistenzmes-sung in Zweifelsfällen

10.7.5 Andere Betoneigenschaften

Sind bei Beton nach Eigenschaften oder Beton nach Zusammensetzung andere oder besondere Eigenschaften nachzuweisen, erfolgt der Umfang der Überwachungsprüfung in Übereinstimmung mit entsprechen-den Normen oder Richtlinien bzw. ist im Einzelfall festzulegen.

11 Prüfen von Beton

Die Prüfung von Beton ist in den Normenreihen DIN EN 12350 (Frischbeton), DIN EN 12390 (Festbeton), sowie in DIN EN 12504 und DIN EN 13791 (Prüfung und Bewertung von Beton in Bauwerken) geregelt.

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 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probe-körper und Formen	Teil 1: Bohrkernproben – Herstellung, Untersuchung und Prüfung unter Druck
Teil 2: Setzmaß	Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeits-prüfungen	Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung – Bestimmung der Rückprallzahl
Teil 3: Vébé-Prüfung	Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern	Teil 3: Bestimmung der Ausziehkraft
Teil 4: Verdichtungsmaß	Teil 4: Bestimmung der Druck-festigkeit - Anforderungen an Prüfmaschinen	Teil 4: Bestimmung der Ultraschall-geschwindigkeit
Teil 5: Ausbreitmaß	Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern	
Teil 6: Frischbetonroh-dichte	Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern	
Teil 7: Luftgehalte – Druckverfahren	Teil 7: Dichte von Festbeton	
Teil 8: Selbstverdichtender Beton – Setzfließmaß (Entwurf)	Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck	
Teil 9: Selbstverdichtender Beton – Auslaufzeit (Entwurf)	Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, Abwitterung (Vornorm)	
Teil 10: Selbstverdichtender Beton – L-Kasten-Prüfung (Entwurf)	Teil 10: Relativer Karbonatisierungs-widerstand von Beton (Vornorm)	
Teil 11: Selbstverdichtender Beton – Sedimentationsstabilität im Siebversuch (Entwurf)		
Teil 12: Selbstverdichtender Beton – Blockiering-Versuch (Entwurf)		

11.1 Prüfen von Frischbeton

11.1.1 Probenahme

Bei der Entnahme von Frischbetonproben wird zwischen Sammelproben und Stichproben unterschieden:

- **Sammelprobe:** Betonmenge aus mehreren Einzelproben, die gleichmäßig verteilt über die Mischerfüllung oder Betonmasse entnommen und gründlich durchgemischt werden.
- **Stichprobe:** Betonmenge aus einer oder mehreren Einzelproben, die einem Teil der Mischerfüllung oder Betonmasse entnommen und gründlich durchgemischt werden.

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 200 mm
Vébé-Prüfung	63 mm	5 bis 30 s
Verdichtungsmaß	63 mm	1,04 bis 1,46
Ausbreitmaß	63 mm	340 bis 600 mm

Die bevorzugten Prüfverfahren sind in Deutschland die Prüfung des Ausbreitmaßes und für steifere Betone (Ausbreitmaß ≤ 340 mm) die Prüfung des Verdichtungsmaßes.

Ausbreitmaß

Der Frischbeton wird in eine Form, die auf einem Ausbreittisch steht, eingebracht. Nach Entfernen der Form wird der Ausbreittisch 15-mal hochgezogen und fallen gelassen. Das Ausbreitmaß wird parallel zu den Kanten des Ausbreittisches mit einer Genauigkeit von 10 mm 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:** Hochziehen in 3 bis 6 s, 30 s nach dem Füllen

- **Fallschläge mit dem Ausbreittisch:** 15 Schläge, alle 2 bis 5 s ein Schlag
- **Ausbreitmaß [mm]:** $(d_1 + d_2) / 2$

Verdichtungsmaß

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 und der Abstand s zwischen der Oberfläche des verdichteten Betons und der Oberkante des Behälters gemessen.

- **Behälter:** Bodenfläche (200 ± 2) mm x (200 ± 2) mm, $h = (400 \pm 2)$ mm
- **Verdichtungsmaß [-]:** $c = h / (h - s)$

Setzmaß

Der Frischbeton wird in einer Form durch manuelles Stampfen verdichtet. Die Form wird hochgezogen und das Setzmaß des Betons gemessen.

- **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
- **Setzmaß [mm]:** Differenz zwischen Ausgangshöhe und Höhe des Betons nach Hochziehen der Form

Setzzeit (Vébé-Prüfung)

Auf einem Rütteltisch wird Frischbeton in einer in einem zylindrischen Behälter stehenden Setzform verdichtet. Die Form wird entfernt und 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 (Vébé-Zeit) gemessen.

- **Zylindrischer Behälter (auf Rütteltisch)** $d = (240 \pm 5)$ mm, $h = (200 \pm 2)$ mm
- **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
- Setzzeit (Vébé-Zeit) [s]: Zeit zwischen Rüttelbeginn und vollständigem Bedecken der Scheibe mit Zementleim

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 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 v		
Zielwertbereiche	alle Werte	≥ 1,26	1,25...1,11	≤ 1,10
Abweichung	± 30 mm	± 0,10	± 0,08	± 0,05

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 m³ 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 Frischbetonrohddichte

Der Frischbeton wird in einem biegesteifen und wasserdichten Behälter verdichtet und gewogen. Das Verhältnis von Betonmasse m und Behältervolumen V ergibt die Frischbetonrohddichte D.

- Behältervolumen: ≥ 5 l
- Einbringen: ≥ 2 Lagen, lagenweise verdichten
- Frischbetonrohddichte [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.

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 A₁ wird an einem Manometer abgelesen.

- Behältervolumen: ≥ 5 l
- Einbringen: 3 Lagen, lagenweise verdichten
- Luftgehalt [Vol.- %]:

$$A = A_1 - G$$

(G: Korrekturfaktor der Gesteinskörnung)

11.2 Prüfen von Festbeton

11.2.1 Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen

Der Beton wird in die Form in mindestens zwei Schichten ≤ 100 mm eingefüllt und verdichtet. Für die Verdichtung werden Innenrüttler, Rütteltisch oder Stampfer (25 Stöße je Schicht) verwendet. Bei der Herstellung von Probekörpern darf ein Aufsatzrahmen verwendet werden.

Nach DIN EN 12390-2, Abschnitt 5.5 erfolgt die Probekörperlagerung im Wasserbad (Referenzverfahren) oder in einer Feuchteammer bis zum Prüftermin.

Abweichend davon beschreibt der nationale Anhang NA der Norm die in Deutschland gebräuchliche Lagerung von Probekörpern für die Druckfestigkeits- und Elastizitätsmodulprüfung:

- Probekörper nach Herstellung für (24 ± 2) h bei (20 ± 2) °C gegen Austrocknen geschützt lagern
- Entformen nach (24 ± 2) h
- entformte Probekörper für 6 d bei (20 ± 2) °C auf Rosten im Wasserbad oder auf einem Lattenrost in der Feuchteammer mit > 95 % rel. Feuchte lagern
- Probekörper im Alter von 7 d bis zum Prüftermin bei (20 ± 2) °C und (65 ± 5) % rel. Feuchte lagern

11.2.2 Prüfung der Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit wird an Zylindern, Würfeln oder Bohrkernen geprüft. Die Druckfestigkeit ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

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 0,5 MPa (N/mm²) anzugeben.

Erfolgt die Lagerung der Würfel nach DIN EN 12390-2, Anhang NA („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 \leq C50/60	$f_{c,cube} = 0,92 \cdot f_{c,dry}$
hochfester Normalbeton \geq C55/67	$f_{c,cube} = 0,95 \cdot f_{c,dry}$

Wenn Würfel mit einer Kantenlänge von 100 mm nach DIN EN 12390-2, Anhang NA ($f_{c,dry}$) geprüft werden, sind die Prüfwerte auf Würfel mit 150 mm Kantenlänge umzurechnen:

$$f_{c,dry(150\text{ mm})} = 0,97 \cdot f_{c,dry(100\text{ mm})}$$

Sofern nichts anderes festgelegt wurde, ist die Druckfestigkeit an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. Für besondere Anwendungen kann die Druckfestigkeit zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt oder nach Lagerung unter besonderen Bedingungen (z. B. Wärmebehandlung) geprüft werden.

11.2.3 Prüfung der Biegezugfestigkeit

Die Biegezugfestigkeit wird 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:

$$f_{ct} = \frac{F \cdot l}{d_1 \cdot d_2^2}$$

f_{ct} - Biegezugfestigkeit [MPa] oder [N/mm²]

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/mm²) anzugeben.

Bei mittiger Lasteintragung ist die Biegezugfestigkeit nach obiger Gleichung mit dem Faktor 1,5 zu multiplizieren.

11.2.4 Prüfung der Spaltzugfestigkeit

Die Spaltzugfestigkeit wird in der Regel an Zylindern bestimmt und ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d}$$

f_{ct} - Spaltzugfestigkeit [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 an der unbehandelten Probe, im wasser-gesättigten Zustand oder nach Trocknung im Wärmeschrank bestimmt werden:

$$D = \frac{m}{V}$$

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 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 28d.

11.2.7 Prüfung der Druckfestigkeit von Bohrkernproben

Mit einem Kernbohrgerät werden Bohrkern aus dem zu prüfenden Beton entnommen. Vor der Prüfung der Druckfestigkeit werden die Bohrkern visuell beurteilt und die Druckflächen durch Schleifen oder Aufbringen eines Ausgleichmörtels abgeglichen.

11.2.8 Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung, nach DIN CEN/TS 12390-9 Vornorm

Drei Prüfverfahren (ein Referenzprüfverfahren und zwei alternative Prüfverfahren) werden zur Bestimmung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes gegen Abwitterung der Betonoberfläche verwendet.

Beim Plattenprüfverfahren (Referenzverfahren) wird die Oberfläche von aus Betonprobekörpern herausgesägten plattenförmigen Betonproben (Kantenlänge 150 mm) mit einer 3 mm tiefen Prüfflüssigkeit (entionisiertes Wasser oder 3%-NaCl-Lösung) beaufschlagt. Es werden 56 Frost-Tau-Wechsel mit jeweils 24h Dauer und einer Temperaturspanne in der Prüfflüssigkeit von +20°C bis -20°C durchgeführt. Die Abwitterung wird in kg/m², auf 0,02 kg/m² gerundet, angegeben.

Beim alternativen Würfelprüfverfahren werden Prüfwürfel (Kantenlänge 100 mm) in entionisiertes Wasser oder 3%-NaCl-Lösung eingetaucht. Es werden 56 Frost-Tau-Wechsel von je 24h und einer Temperaturspanne in Prüfkörpermitte von +20°C bis -15°C durchgeführt. Der Massenverlust wird in M.-%, auf 0,1% gerundet, angegeben.

Beim alternativen CF-bzw. CDF- Prüfverfahren werden je zwei Probekörper in einer mittig unterteilten Würfelform (Kantenlänge 150 mm) hergestellt. Deren Innenflächen (je Probekörper ein Prüfbehälter) werden 5 mm tief in entionisiertes Wasser (CF-Prüfung) oder eine 3%-NaCl-Lösung (CDF-Prüfung) eingetaucht und 56 Frost-Tau-Wechseln, von je 12h, ausgesetzt. Die Temperaturspanne in der Kühflüssigkeit (je Probekörper ein in Kühflüssigkeit eingetauchter Prüfbehälter) liegt zwischen +20°C und -20°C. Die Abwitterung wird in kg/m² auf 0,001 kg/m² gerundet angegeben.

11.2.9 Bestimmung des relativen Karbonatisierungswiderstandes von Beton, nach DIN CEN/TS 12390-10 Vornorm

In Langzeitprüfungen von mindestens 2 Jahren wird 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 CO₂-Konzentrationen von ca. 0,035% oder regengeschützt unter natürlichen Witterungsbedingungen. Das Vergleichsergebnis dient der Beurteilung des Karbonatisierungswiderstandes des Prüfbetons bei gleichartigen Verwendungsbedingungen.

11.2.10 Rundungsgenauigkeit von Prüfergebnissen

Tabelle 11.2.10.a: Rundungsgenauigkeit von Prüfergebnissen

Prüfung	Rundungsgenauigkeit
Druckfestigkeit	0,5 MPa
Biegezugfestigkeit	0,1 MPa
Spaltzugfestigkeit	0,05 MPa
Dichte von Festbeton	10 kg/m ³
Wassereindringtiefe unter Druck	1 mm

11.2.11 Zusammenhang zwischen Druck-, Biegezug-, Spaltzug- und Zugfestigkeit

Grobe Abschätzung:

$$\begin{aligned} f_c &= 5 \text{ bis } 9 \cdot f_{ct(BZ)} \\ f_c &= 8 \text{ bis } 15 \cdot f_{ct(SZ)} \\ f_{ct(BZ)} &= 1,7 \cdot f_{ct(SZ)} \\ f_{ct(BZ)} &= 2 \cdot f_t \\ f_t &= 0,8 \cdot f_{ct(SZ)} \end{aligned}$$

Mit:

f_c - Druckfestigkeit

$f_{ct(BZ)}$ - Biegezugfestigkeit

$f_{ct(SZ)}$ - Spaltzugfestigkeit

f_t - Zugfestigkeit

Tabelle 11.2.11.a: Beispiele Druck- zu Biegezug- bzw. Spaltzugfestigkeit

f_c [N/mm ²]	Mittlerer Verhältniswert (Beispiele)			
	$f_c/f_{ct(BZ)}$ bei		$f_c/f_{ct(SZ)}$	
	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 11.2.11.b: Beispiele Biegezug- zu Spaltzugfestigkeit

$f_{ct(BZ)}$ [N/mm ²]	Zugehöriger Bereich von $f_{ct(SZ)}$ [N/mm ²]	Verhältniswert $f_{ct(BZ)}/f_{ct(SZ)}$ (Beispiele)	
		Mittel	Streubereich
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:

- 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.

Die Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen ist in DIN EN 13791 geregelt. Sie gilt für folgenden Anwendungsbereich:

- 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 der DIN EN 13791 dienen nicht als Ersatz der Konformitätsprüfung nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 bzw. der Identitätsprüfung nach DIN 1045-3. Sofern bei diesen Prüfungen keine hinreichenden Druckfestigkeiten gefunden wurden oder bei der Druckfestigkeitsprüfung keine repräsentativen Werte zu erwarten sind, darf die Bewertung der Bauwerksfestigkeit für den Tragfähigkeitsnachweis nach DIN EN 13791 erfolgen.

11

11.3.1 Bestimmung der Bauwerksdruckfestigkeit

Die Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton 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 Druckfestigkeit eines luftgelagerten Bohrkerns mit Nenndurchmesser von 100 mm bzw. 150 mm darf der Druckfestigkeit eines bis zur Prüfung wassergelagerten Würfels mit 150 mm Kantenlänge gleichgesetzt werden. Bei Bohrkernen mit Nenndurchmesser von 50 mm sind 90 % seiner Festigkeit als Würfelfestigkeit anzusetzen.

Bei den indirekten Prüfverfahren – Rückprallhammer-Prüfung, Prüfung der Ausziehkraft und Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit – wird eine andere physikalische Messgröße ermittelt. Die Beziehung zwischen dieser Messgröße und der Bohrkernfestigkeit ist zu bestimmen. Alternativ ist bei der Rückprallhammer-Prüfung eine Korrelation zwischen Rückprallergebnissen und Festigkeitsprüfungen an Würfeln möglich (Bezugsgerade W). Eine weitere Alternative ist die direkte Zuordnung der Rückprallprüfergebnisse zur Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 mit Hilfe einer Bezugstabelle (Tabelle 11.3.2.d)

Tabelle 11.3.1.a: Abschätzung der charakteristischen Bauwerksfestigkeit und die Zuordnung zu Druckfestigkeitsklassen

Prüfverfahren	Basis des Bewertungsverfahrens	Anzahl ¹⁾ der Proben/Prüfstellen		Abschätzung der charakteristischen Druckfestigkeit $f_{ck, is}$ ²⁾	Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2
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 Bohrkern	$n \geq 15$ (Ansatz A)		$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \cdot s$ ³⁾ oder ⁴⁾ $f_{ck, is} = f_{is, niedrigst} + 4$	Zuordnung nach ■ Tabelle 11.3.2.b Normal- und Schwerbeton ■ Tabelle 11.3.2.c Gefügedichteter Leichtbeton
		$3 \leq n \leq 14$ (Ansatz B)		$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k$ ⁵⁾ oder ⁴⁾ $f_{ck, is} = f_{is, niedrigst} + 4$	
Rückprallhammer nach DIN EN 12504-2 oder Ausziehkraft nach DIN EN 12504-3 oder Ultraschallgeschwindigkeit nach DIN EN 12504-4	Bezugsgerade aus Korrelation mit Bohrkernfestigkeiten (≥ 18 Wertepaare) Vorgegebene Bezugsgerade, angepasst auf aktuelles Festigkeitsniveau durch Korrelation mit Bohrkernfestigkeiten (≥ 9 Wertepaare)	$n \geq 15$		$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \cdot s$ ⁶⁾ oder ⁴⁾ $f_{ck, is} = f_{is, niedrigst} + 4$	
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)	$n \geq 9$		-	Zuordnung nach Tabelle 11.3.2.d ⁷⁾

Fußnoten befinden sich auf der nächsten Seite oben ►

Fußnoten zu Tabelle 11.3.1.a

- 1) Die Anzahl der Bohrkern/Prüfungen richtet sich nach DIN 1045-3, Abschnitt A2.
 - a) Bohrkern:
 - $d \geq 100$ 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) s – Standardabweichung der Prüfergebnisse, Mindestwert: 2 N/mm²
- 4) Der niedrigere der beiden Werte ist maßgebend
- 5) $k = 5$ für $n = 10$ bis 14
 $k = 6$ für $n = 7$ bis 9
 $k = 7$ für $n = 3-6$
- 6) s – Standardabweichung der Prüfergebnisse, Mindestwert: 3 N/mm²
- 7) Nicht für Leichtbetone und hochfeste Betone; Karbonatisierungstiefe ≤ 5 mm; nicht für geschädigte Betonoberflächen; Zuordnung nur für Tragfähigkeitsnachweis

11.3.2 Beurteilung des Betons bei negativen Konformitätsprüfungen

Bei Zweifeln wegen negativer Ergebnisse der Konformitäts- oder Annahmeproofungen 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 Bohrkerndruckprüfungen 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	$n \geq 2$	$f_{is,niedrigst} \geq 0,85 (f_{ck} - 4)$	

¹⁾ Bohrkerndruckprüfung + 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 Mindest-Druckfestigkeit von Normal- und Schwerbeton im Bauwerk für die 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/mm ²] 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 Mindest-Druckfestigkeit von gefügedichtem Leichtbeton im Bauwerk für die 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/mm ²] 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: Ruckprallzahlen und vergleichbare Druckfestigkeit nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Druckfestigkeitsklasse	Mindestwert für jeden Messpunkt [Skalenteile]	Mindestwert für jede Prüffläche [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

Beispiel 1: Bewertung der Bauwerksfestigkeit durch Bohrkernprüfung

Gegeben: 6 Bohrkern, $f_{m(6), is} = 35 \text{ N/mm}^2$; $f_{is, niedrigst} = 29 \text{ N/mm}^2$

Gesucht: Charakteristische Bauwerksfestigkeit und Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Lösung: $n = 6 \Rightarrow k = 7$ (Tabelle 11.3.1.a)

$$f_{ck, is} = 35 - 7 = 28 \text{ N/mm}^2$$

oder

$$f_{ck, is} = 29 + 4 = 33 \text{ N/mm}^2$$

maßgebend: $f_{ck, is} = 28 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$ Tabelle 11.3.2.b: Druckfestigkeitsklasse C 25/30

Beispiel 2: Zweifel an Konformität, Begrenzte Betonmenge (Beton-Stütze)

Gegeben: 2 Bohrkern, $f_{is} = 29 \text{ N/mm}^2$, $f_{is} = 30 \text{ N/mm}^2$; 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)

$$f_{is, niedrigst} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) = 0,85 (37 - 4) = 28 \text{ N/mm}^2$$

Vorhanden: $f_{is, niedrigst} = 29 \text{ N/mm}^2 \geq 28 \text{ N/mm}^2$

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 BDZ.

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 die folgenden Regeln bewährt:

- ausreichend hoher Mehlkorn- und Mörtelgehalt (siehe Tabelle 12.1.2.a),
- Zementgehalt $\geq 300 \text{ kg/m}^3$,
- w/z-Wert $\leq 0,55$, ggf. unter Verwendung eines verflüssigenden Zusatzmittels,
- wegen der möglichen Farbbeeinflussung kein Restwasser und Restbeton verwenden,
- niedrige Dosierschwankungen für alle Ausgangsstoffe einhalten; bereits geringe Schwankungen des w/z-Wertes ($\Delta w/z = \pm 0,02$) können zu erkennbaren Helligkeitsunterschieden führen,
- Herstellwerk und Ausgangsstoffe während der Bauausführung nicht wechseln.

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:

- Schalhaut 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 zu vermeiden, sollte der Beton möglichst monolithisch eingebaut und verdichtet werden.

Tabelle 12.1.2.a: Empfohlener Maßnahmenkatalog für gleichmäßige Sichtbetonflächen

Forderung	Möglichkeiten der			Beeinflussung durch	
	Bindemittel	Gesteinskörnung		Beton	Ausführung
gleichmäßige Farbtonung	<ul style="list-style-type: none"> ■ gleichmäßige Farbe von Zement und Zusatzstoffen ■ keine Änderung der Herkunft während der Ausführung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ausgewählte Farbe, Struktur, Größtkorn ■ gleichmäßige Sandfarbe ■ gleichmäßiger Mehlkornanteil ■ keine Änderung der Herkunft während der Ausführung 		<ul style="list-style-type: none"> ■ gleichmäßige Betonzusammensetzung ■ geringe Dosierschwankungen der Ausgangsstoffe ■ gleichmäßige Betontemperatur ■ ausreichend lange, definierte Mischzeit, mind. 60 s 	<ul style="list-style-type: none"> ■ gleiches Material und gleiche Vorbehandlung für die Schalhaut ■ neue und alte Schalungen nicht gemeinsam verwenden ■ gleichmäßiger Auftrag eines auf Schalung und Beton abgestimmten Trennmittels ■ gleichmäßige Verdichtung ■ ausreichende, gleichmäßige Nachbehandlung
geschlossene Oberfläche		<ul style="list-style-type: none"> ■ getrennte Korngruppen ■ Größtkornfestlegung 		<ul style="list-style-type: none"> ■ gleichbleibendes Mischungsverhältnis ■ $w/z \leq 0,55$; Zementgehalt $\geq 300 \text{ kg/m}^3$ ■ Mehlkorngehalt im oberen Bereich nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ■ ausreichend hoher Mörtelgehalt (Erfahrungswerte): <ul style="list-style-type: none"> – $D_{max,32} \geq 500 \text{ l/m}^3$ – $D_{max,16} \geq 550 \text{ l/m}^3$ ■ ausreichender Zusammenhalt und ausreichendes Wasserrückhaltevermögen des Frischbetons ■ Konsistenz F2 bis F6; Abweichung vom vereinbarten Ausbreitmaß $\leq \pm 20 \text{ mm}$ ■ Selbstverdichtender Beton 	<ul style="list-style-type: none"> ■ dichte Schalungen ■ steifer Schalungsaufbau ■ ausreichende Verdichtung evtl. Nachverdichtung ■ Verhindern der Entmischung durch: <ul style="list-style-type: none"> – kurze Transportwege – Fallhöhe $< 1,0 \text{ m}$ – kurze Schüttabstände – Betonierlagen $< 50 \text{ cm}$ – nicht zu starkes Verdichten – mörteldichte Schalungsfugen – Betondeckung $\geq 1,5 \cdot \text{Größtkorndurchmesser}$
fehlerfreie Kanten		<ul style="list-style-type: none"> ■ Größtkornbeschränkung 			<ul style="list-style-type: none"> ■ Abstumpfen der Kanten ■ fluchtgerechte Geradlinigkeit ■ Kantenschutz ■ dichte Schalung
Arbeitsfugen					<ul style="list-style-type: none"> ■ Rastereinteilung ■ Schattenkanten

12.1.3 Optische Anforderungen und Beurteilungskriterien

Bei der 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 Ansichtsflächen aus angemessenem Betrachtungsabstand und unter üblichen Lichtverhältnissen maßgebend. Bei den optischen Forderungen ist zu berücksichtigen, dass 100-prozentig gleichmäßige Farbtonung, Porenstruktur und porenfreie Ansichtsflächen herstellungstechnisch nicht erreichbar sind.

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
- Arbeits- und Schalhautfugen-Klassen: AF1 - AF4
- Schalhautklassen: SHK1 - SHK3

Aus diesen Einzelkriterien ergeben sich die in Tabelle 12.1.3.a genannten Sichtbetonklassen.

Tabelle 12.1.3.a: Übersicht herstellungstechnischer Grenzen

Vermeidbare Abweichungen	Eingeschränkt vermeidbare Abweichungen	Technisch nicht oder nicht zielsicher herstellbare Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 Schalelementen und Bauteilanschlüssen ■ starke Ausblutungen an Schalbrett- und Schalelementstößen oder an Ankerlöchern und Bauteilanschlüssen ■ starke Schleppwassereffekte ■ Farb- und Texturunterschiede durch unsachgemäß gelagerte Schalung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wolkenbildung und Marmorierungen ■ leichte Farbunterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Schüttlagen ■ Porenanhäufung im oberen Teil vertikaler Bauteile ■ Abzeichnung der Bewehrung oder des Grobkorns ■ geringe Ausblutungen an Schalbrett- und Schalelementstößen 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 	<ul style="list-style-type: none"> ■ völlig gleichmäßige Farbtonung aller Ansichtsflächen ■ völlig gleichmäßige Porenstruktur (Porengröße und -verteilung) ■ porenfreie Ansichtsflächen ■ ausblutungsfreie Ortbetonbauteile ■ ungefasste, scharfe Kanten ohne kleinere Abbrüche und Ausblutungen ■ Farbton- und Texturgleichheit an Schalungsstößen

Tabelle 12.1.3.b: Sichtbetonklassen gemäß Sichtbeton-Merkblatt

Sichtbetonklasse		Beispiel	Anforderungen an			geschalte Sichtbetonflächen				Weitere Anforderungen	
			Textur	Porigkeit		Farbtongleichmäßigkeit		Arbeits- und Schalhautfugen	Ebenheit	Probefläche	Schalhautklasse
				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		FT1		AF1	E1	freigestellt	SHK1
	Sichtbeton mit normalen Anforderungen	SB 2		Betonflächen mit normalen gestalterischen Anforderungen, z. B. Treppenhausräume, Stützwände	P2	P1	FT2				
Sichtbeton mit besonderen Anforderungen	SB 3	Betonflächen mit hohen gestalterischen Anforderungen, z.B. Fassaden im Hochbau	T2	P3	P2	FT2		AF3	E2	dringend empfohlen	SHK2
	SB 4	Betonflächen mit besonders hoher gestalterischer Bedeutung, repräsentative Bauteile im Hochbau	T3	P4	P3	FT3	FT2	AF4	E3	erforderlich	SHK3

¹⁾ s = saugende bzw. ns = nichtsaugende Schalhaut

12.1.4 Anwendung

- Fassadenelemente und -flächen
- Brückenbauwerke
- Bauteile aus Selbstverdichtendem Beton (s. Kapitel 12.9)

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 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 Regelungen zu hochfestem Beton bereits in den Kapiteln 1 bis 7 eingearbeitet.

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: $w/z \leq 0,35$, kein Restwasser
- Zusatzmittel: leistungsfähige Zusatzmittel (BV, FM, ggf. VZ)
- Zusatzstoffe: Flugasche und/oder Silikastaub/Silikasuspension

- Mehlkorngesamt (siehe Tabelle 6.3.4.b)
- Gesteinskörnungen:
 - Größtkorn: i. d. R. $D_{\max} = 16 \text{ mm}$
 - Art:
 - $\leq 2 \text{ mm}$: Quarzsande mit geringem Mehlkorn- und Feinstsandgehalt,
 - $> 2 \text{ mm}$: quarzitisches Kies, Kiessande, evtl. Splitte
 - Korngrößenverteilung: zwischen Regelsieblinien A und B, optimal: Sieblinie nahe B für $\leq 2 \text{ mm}$, Sieblinie nahe A für $> 2 \text{ mm}$
 - für Betondruckfestigkeiten $> 100 \text{ N/mm}^2$: gebrochene Gesteinskörnungen hoher Druckfestigkeit, z. B. Basalt

Tabelle 12.2.2.a: Beispiele für die Zusammensetzung hochfester Betone (aus: Zement-Merkblatt Betontechnik B 16 10.2002, Bauberatung Zement)

Betondeckungsstufe			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
Silicastaubgehalt s			-	30	40	45	45
Flugaschegehalt f			-	80	-	-	100
$(w/z)_{\text{eq}}^{1)}$			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 Silicastaub und Flugasche auf den w/z -Wert siehe 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 $\geq 0,80 \text{ m}$ beträgt.

Bei massigen Bauteilen ist aufgrund der Abmessungen besonders auf die Temperaturänderungen infolge 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“ anzuwenden.

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, DIN EN 197-4, VLH-Zemente nach DIN EN 14216 empfehlenswert
- Zusatzstoffe: Verwendung von Flugasche zur Verringerung der Wärmeentwicklung des Betons möglich
- Zusatzmittel: evtl. 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 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		XF3		XF4	XA1	XA2
max. w/z-Wert	0,50	0,50 ⁴⁾	0,45	0,55 ⁵⁾	0,50 ⁵⁾	0,55	0,50	0,50 ⁵⁾	0,60	0,50
Mindestdruckfestigkeitsklasse ¹⁾	C30/37 ³⁾	C30/37 ³⁾⁴⁾	C35/45 ³⁾	C25/30	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C25/30	C30/37 ³⁾
Mindestzementgehalt ²⁾ [kg/m ³]	300	300		300	300	300	300	300	280	300
Mindestzementgehalt ²⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen [kg/m ³]	270	270		270 ⁵⁾		270		270 ⁵⁾	240	270
Mindestluftgehalt [%]	-	-	-	6)	-	6)	-	6)7)	-	-
andere Anforderungen	-	-	Gesteinskörnungen zusätzlich			mit Widerstand gegen Frost bzw. Frost- und Taumittel			-	-
			MS ₂₅			F ₂				
Graue Schraffur: Abweichung von DIN EN 206-1/DIN 1045-2										

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 $D_{\max} 63$ mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m^3 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 und mit Flugasche als Betonzusatzstoff. Bei Verwendung anderer Zemente der Tabellen F.3.1 und F.3.2 der DIN 1045-2 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 ausgeschlossen.
- 6) Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn des Zuschlaggemisches von $8 \text{ mm} \geq 5,5 \text{ Vol.-%}$, $16 \text{ mm} \geq 4,5 \text{ Vol.-%}$, $32 \text{ mm} \geq 4,0 \text{ Vol.-%}$ und $63 \text{ mm} \geq 3,5 \text{ Vol.-%}$ betragen. Für Fließbeton (Konsistenzklasse $\geq F_4$) ist der Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% zu erhöhen. Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens $0,5 \text{ Vol.-%}$ unterschreiten. Als oberer Grenzwert des Luftgehaltes gilt der festgelegte Mindestluftgehalt plus 4 Vol.-% absolut.
- 7) Erdfeuchter Beton mit $w/z \leq 0,40$ darf ohne Luftporen hergestellt werden.

12.3.3 Temperaturentwicklung

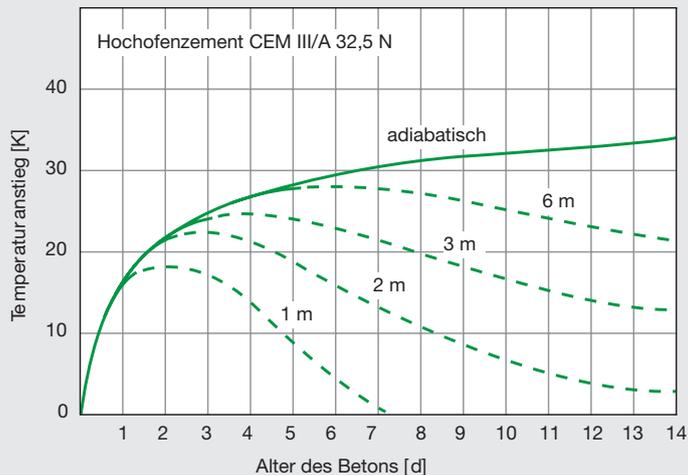
Bei massigen Bauteilen entsteht im Verlauf der Hydratation zwischen Bauteilkern und -oberfläche ein Temperaturgefälle, das sich mit fortschreitender Zeit ausgleicht.

Die entstehenden Temperaturen sind u. a. abhängig von:

- Hydratationswärme des Zementes
- Zementgehalt
- Wasserzementwert
- Frischbetontemperatur
- Umgebungsbedingungen
- Bauteildicke
- Bauteil Ausbildung und -lage

Die Wärmeentwicklung im Kern von Betonbauteilen kann, wie in Kapitel 9.5 erläutert, abgeschätzt werden. Ein Beispiel für den Verlauf des Temperaturanstieges in Beton infolge Hydratationswärmeentwicklung von CEM III/A 32,5 N zeigt Abbildung 12.3.3.a.

Abbildung 12.3.3.a: Verlauf des Temperaturanstiegs infolge Hydrationswärmeentwicklung 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 ist ein Qualitätssicherungsplan 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 Tabellen 10.6.3.a, 10.6.3.b und 10.6.3.c mit $r = f_{cm,2} / f_{cm,Prüftermin}$
 - Alternativ: Nachweis der erforderlichen Festigkeit im oberflächennahen Bereich (siehe Tabelle 10.6.3.a) über eine Festigkeitsentwicklungskurve bei 20 °C zwischen 2 Tagen und dem festgelegten Prüftermin

12.4 Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton

Teilweise oder vollständig ins Erdreich eingebettete Betonbauwerke können die Funktion der Wasserundurchlässigkeit grundsätzlich auch ohne zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen übernehmen. Hierfür müssen sie als wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, die so genannten „Weißen 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 Regeln eine Ergänzung zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1045-1 darstellen. Die Anwendung dieser WU-Richtlinie ist daher bauvertraglich zu vereinbaren.

12.4.2 Beanspruchungsklassen

Nach Richtlinie werden die Einwirkungen auf wasserundurchlässige Bauteile in zwei Beanspruchungsklassen eingeteilt:

- 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: keine Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche infolge von Wasserdurchlässigkeit 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 $d \leq 40$ cm:
 - w/z 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 bzw. $(w/z)_{eq} \leq 0,70$

Bei Ausführung nach DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ 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 $(w/z)_{eq} \leq 0,55$ 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 $\leq 0,55$ auf $\leq 0,60$ 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

Tabelle 12.4.5: 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	X	200
	2	150		100

¹⁾ Unter Beachtung besonderer beton- und ausführungstechnischer Maßnahmen ist eine Abminderung auf 200 mm möglich.

12.5 Bohrpfehlbeton

Als Bohrpfehlbeton 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 Bohrpfehlbeton ist in DIN EN 1536 „Bohrpfähle“ in Verbindung mit dem DIN-Fachbericht 129 geregelt.

12.5.2 Zusammensetzung

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 ein bauaufsichtlicher Verwendungsnachweis, z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, erforderlich.

- Zemente mit Zusatzstoffen des Typs II sind bevorzugt zu verwenden, da sie sich vorteilhaft auf den Beton auswirken, z. B. verlängerte Verarbeitbarkeitszeit, verminderte Wärmeentwicklung.
- Tonerdezement darf nicht verwendet werden.

Gesteinskörnung

- Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620
- Das Größtkorn darf 32 mm oder $\frac{1}{4}$ 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 nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2.
- Besondere Anforderungen an die Zusammensetzung von Bohrpfahlbeton (s. Tabelle 12.5.3.a)
- Festigkeitsklasse (falls im Leistungsverzeichnis nicht anders gefordert):
 - C20/25 bis C30/37 (Berücksichtigung der Anforderungen aus den Expositionsklassen erforderlich)
 - für Primärpfähle < C20/25 erlaubt
- Konsistenz nach Tabelle 12.5.3.b
- Fließfähiger Beton der Konsistenz \geq 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-Fachbericht 129

Betonkriterium	Einbauverfahren/Größtkorn	Anforderungen
Zementgehalt	Einbringen im Trockenen	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
	Einbringen unter Wasser	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$
Zement + Flugasche (z+f) ¹⁾	Größtkorn 32 mm	$\geq 350 \text{ kg/m}^3$
	Größtkorn 16 mm	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Flugasche	Größtkorn 32 mm	$\geq 270 \text{ kg/m}^3$
	Größtkorn 16 mm	$\geq 300 \text{ kg/m}^3$
Wasserzementwert w/(z+0,7·f)		< 0,60
Mehlkornanteil d < 0,125 mm (einschließlich Zement und Flugasche)	Größtkorn d > 8 mm	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
	Größtkorn d \leq 8 mm	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$

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

Tabelle 12.5.3.b: Konsistenz von Bohrpfahlbeton

Ausbreitmaß ¹⁾ [mm]	Anwendungsbeispiele
460 bis 530	■ Betonieren im Trockenen
530 bis 600	■ Pumpbeton ■ mit Kontraktorrohren eingebrachter Unterwasserbeton
570 bis 630	■ im Kontraktorverfahren unter Stützfälligkeit eingebrachter Beton

¹⁾ Das gemessene Ausbreitmaß ist auf 10 mm zu runden.

12.6 Stahlfaserbeton

Stahlfaserbeton ist ein Beton, dem zum Erreichen bestimmter Eigenschaften Stahlfasern zugegeben werden.

In DIN EN 206-1/DIN 1045-2 ist die Verwendung von Stahlfasern nach DIN EN 14889-1 geregelt. Bei Ausnutzung der Tragwirkung der Fasern für tragende und aussteifende Bauteile sind über DIN 1045 hinausgehende Regelungen zu beachten.

Für die Herstellung steht das DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton zur Verfügung, das jedoch für tragende und aussteifende Bauteile bauaufsichtlich nicht relevant ist.

Eine Richtlinie des DAfStb für die Bemessung von Stahlfaserbeton ist derzeit im Entwurf. Diese sieht bei der Festlegung des Stahlfaserbetons zusätzlich zu den Druckfestigkeitsklassen Leistungsklassen für zwei

Verformungsbereiche vor, die für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit benötigt werden.

12.6.1 Fasern

Für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 dürfen folgende Stahlfasern nach DIN EN 14889-1 verwendet werden (Siehe auch Kapitel 4.5):

- 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 von:

- Fasergehalt
- Zugfestigkeit der Fasern
- Faserlänge l (Standardlängen $l = 25$ bis 60 mm)
- Faserdurchmesser d
- Verankerungsmechanismus der Faser

Das Verhältnis l/d ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit: Je höher l/d , desto höher die Wirksamkeit.

12.6.2 Zusammensetzung

Der Gehalt an Stahlfasern liegt in Abhängigkeit von der Anwendung bei ca. 20 bis 40 kg/m³. 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 Ausbreit-

maß der Ausgangsmischung ohne Fasern sollte ca. 420 ± 20 mm betragen.

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
- i. d. R. $D_{\max} 16$ mm

Für die Stoffraumrechnung des Betons wird die Dichte der Stahlfasern mit $7,85$ kg/dm³ angesetzt.

12.6.3 Herstellung

Die Stahlfasern werden im Zwangsmischer während der Betonherstellung oder im Fahrmischer zugegeben.

Die Einbaukonsistenz wird nach Faserzugabe mit Fließmittel auf der Baustelle eingestellt.

Stahlfaserbeton kann als Pumpbeton hergestellt werden.

12.6.4 Eigenschaften

Signifikant für Stahlfaserbeton ist folgendes Tragverhalten:

- Verformungsbereich I (ungerissener Zustand des Querschnitts): Behinderung der Rissaufweitung von Mikrorissen. Maßgebend für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit.
- Verformungsbereich II (gerissener Zustand des Querschnitts): Resttragfähigkeit durch rissüberbrückende Wirkung der Stahlfasern. Maßgebend für den Nachweis der Tragfähigkeit.

Stahlfaserbeton kann nach dem DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton bemessen werden. Dazu werden die Betone in Abhängigkeit von der äquivalenten Zugfestigkeit in zehn Faserbetonklassen eingeteilt. In der Erstprüfung ist die Faserbetonklasse zu ermitteln.

Die Zugabe von Stahlfasern zu Beton führt zu folgenden Materialeigenschaften:

- höhere Schlagfestigkeit
- höherer Verschleißwiderstand
- duktiles Bruchverhalten
- evtl. höhere Biegezug-, Spaltzug- und zentrische Zugfestigkeit
- höhere Grünstandsfestigkeit des Betons

12.6.5 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 (Tübbing)
- Betonrohre
- Ramppfähle
- Dichtflächen, z. B. Auffangtassen in Tankanlagen

12.7 Spritzbeton

Spritzbeton ist Beton, der in einer geschlossenen Schlauch- oder Rohrleitung zur Einbaustelle gefördert und dort durch Spritzen aufgetragen und dabei verdichtet wird.

Die Anforderungen an Spritzbeton hinsichtlich Ausgangsstoffen, Herstellung und Ausführung sind in DIN EN 14487-1 und DIN EN 14487-2, zusätzlich zu den Anforderungen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2, geregelt. DIN 18551, die bisher in Deutschland geltende Norm für Spritzbeton, wird zukünftig die nationalen Regeln für die Anwendung der DIN EN 14487 festlegen (derzeit im Entwurf). Außerdem regelt DIN 18551, die für Bauteile aus bewehrtem Normal- oder Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge gilt, die Bemessung und konstruktive Durchbildung von Tragwerken und Bauteilen aus Spritzbeton. Die Prüfverfahren für Spritzbeton sind in DIN EN 14488 definiert.

Charakteristisch für Spritzbeton ist der Rückprall. Rückprall ist derjenige Teil des Spritzgemisches, der beim Spritzen nicht an der Auftragsfläche haftet. Der Rückprall 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.

12.7.1 Herstellung

Grundsätzlich werden zwei Spritzverfahren unterschieden: das Trocken- und das Nassspritzverfahren.

Tabelle 12.7.1.a: Spritzverfahren für die Herstellung von Spritzbeton

	Trockenspritzverfahren	Nassspritzverfahren
Bereitstellungsgemisch (Grundmischung)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Trockenbeton ■ erdfeuchter Beton 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nassgemisch
Förderung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dünnstrom 	<ul style="list-style-type: none"> ■ i. d. R. Dichtstrom
Zugabe im Düsenbereich	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wasser ■ ggf. Beschleuniger und/oder Rückprallminderer 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Luft ■ Beschleuniger
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ■ große Flexibilität und Reichweite ■ einfache Geräte ■ geringer Reinigungsaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> ■ hohe Leistung ■ geringer Rückprall ■ geringe Staubentwicklung

Beim **Trockenspritzverfahren** wird erdfeuchter Transport- oder Baustellenbeton (max. 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 **Nassspritzverfahren** wird ein Transport- oder Baustellenbeton verwendet, der entweder im Dünnstrom- oder im Dichtstromverfahren gefördert wird. Beim Dünnstromverfahren wird die Grundmischung (Bereitstellungsgemisch) durch eine Spritzmaschine der Förderleitung zugeführt und mit Druckluft zur Düse gefördert, wo gegebenenfalls Betonzusätze beigemischt werden. Beim Dichtstromverfahren wird die Grundmischung (Bereitstellungsgemisch) mit einer Pumpe zur Düse gefördert, wo die Treibluft zum Spritzen und gegebenenfalls Betonzusätze zugegeben werden.

12.7.2 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

- Im Trockenspritzverfahren kann auch Spritzbetonzement eingesetzt werden, der ohne Zugabe von Erstarrungsbeschleuniger ein schnelles Erstarren zeigt, z. B. ChronoCem
- Bewährt hat sich ein Zementgehalt von 360 bis 400 kg/m³ (Rückprallbegrenzung)

Gesteinskörnung

- DIN EN 12620 oder DIN EN 13055-1
- Größtkorn: i. d. R. D_{\max} 8 mm bei Rundkorn, D_{\max} 11 mm bei Splitt
- Sieblinie: zwischen Regelsieblinien A und B (Empfehlung: Sieblinie nahe B für Korngröße: ≤ 2 mm, Sieblinie im Bereich 3 für Korngröße: > 2 mm)

Zusatzmittel:

- DIN EN 934-2 und/oder DIN EN 934-5 und DIN EN 934-6 oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Zusatzstoffe:

- DIN EN 206-1/DIN 1045-2, 5.1.6 oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

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 feinteilmarmen Gesteinskörnungen oder mehlkornarmen Mischungen Flugasche eingesetzt werden.
- w/z -Wert $\leq 0,5$, insbesondere beim Einsatz von Erstarrungsbeschleunigern (Grenzwert aus den Expositionsclassen berücksichtigen!)
- Verarbeitungskonsistenz: 520 bis 550 mm, einzustellen durch hochwirksame Fließmittel.

Für Tunnelbauwerke nach ZTV-Ing gilt:

- Gesamt- Na_2O -Äquivalent des Spritzbetons $< 1,5$ M.-% vom Zement
- Bei Verwendung von Beschleunigern: nur alkalifreie Beschleuniger mit einem Na_2O -Äquivalent $< 1,0$ M.-%, z. B. Sika Sigunit-L53 AF, Sigunit-49 AF

12.7.3 Anwendung

Spritzbeton eignet sich für alle Anwendungsfälle, in denen es schwierig bzw. unmöglich ist, eine Schalung zu stellen. Außerdem eignet sich Spritzbeton für Anwendungen, bei denen eine schnelle Tragfähigkeit erreicht werden muss:

- Auskleidung von Hohlraumbauten des konstruktiven Ingenieurbaus: Tunnel-, Stollen-, Berg- und Schachtbau,
- temporäre Sicherung von Hängen, Hohlräumen und Baugruben
- dauerhafte Verstärkung oder Instandsetzung bestehender Tragwerke

12.8 Leichtverarbeitbarer Beton (LVB)

Leichtverarbeitbare Betone sind Betone nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 der Konsistenzklassen F5 und F6 (Ausbreitmaß < 700 mm) mit sehr gutem Fließverhalten und sehr geringem Verdichtungsaufwand.

12.8.1 Zusammensetzung

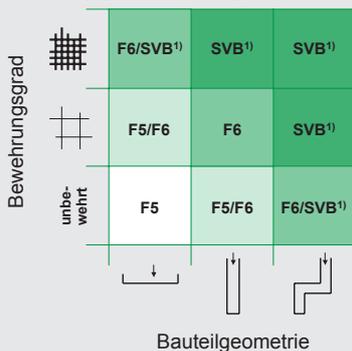
Ähnlich dem SVB (siehe Kapitel 12.9) beruhen die guten Verarbeitungseigenschaften des LVB auf der Verwendung eines hochwirksamen Fließmittels (z. B. Polycarboxylatether) sowie einem erhöhten Leimgehalt. Der Mehlkorngehalt liegt innerhalb der zulässigen Grenzen von DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

Tabelle 12.8.1.a: Beispiel für die Zusammensetzung eines Betons der Konsistenzklassen F5 bzw. F6

Ausgangsstoff	LVB F5	LVB F6
Zement	300 kg/m ³	350 kg/m ³
Füller	100 kg/m ³	150 kg/m ³
Fließmittel	0,5 - 2 % v. Z.	1 - 3 % v. Z.
Wasser	180 kg/m ³	180 kg/m ³
Sand 0/2	700 kg/m ³	650 kg/m ³
Kies 2/8	525 kg/m ³	500 kg/m ³
Kies 8/16	525 kg/m ³	500 kg/m ³

12.8.2 Anwendung

Abbildung 12.8.2.a: Anwendungsbereiche von LVB und SVB in Abhängigkeit von Bewehrungsgrad und Bauteilgeometrie



¹⁾ Siehe Kapitel 12.9

12.9 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 Mehlkorngelalte (Mehlkorntyp), durch stabilisierende Zusätze (Stabilisierertyp) oder durch deren Kombination in Verbindung mit hochwirksamen Fließmitteln erzielt werden.

12.9.1 Regelwerk

Aufgrund seiner Konsistenz und dem in der Regel sehr hohen Mehlkorngelalt entspricht SVB nicht DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Selbstverdichtender Beton ist nach der DAFStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ zu bemessen, herzustellen und auszuführen.

12.9.2 Anforderungen an SVB nach Richtlinie

Der Beton muss ausreichend fließfähig und sedimentationsstabil sein. Der Mehlkorngelalt muss zwischen 450 kg/m^3 und 650 kg/m^3 liegen.

Der Betonhersteller hat im Rahmen einer erweiterten Erstprüfung und eines Verarbeitungsversuches folgende Prüfungen durchzuführen:

- Setzfließmaß mit und ohne Blockierring
- Trichterauslaufzeit
- visuelle Beurteilung der Sedimentationsstabilität oder Auswaschversuch.

Bei der Erstprüfung wird über Zielwerte und zulässige Abweichungen ein Verarbeitungszeitfenster für Setzfließmaß und die Trichterauslaufzeit festgelegt. Das Setzfließmaß mit Blockierring darf von dem ohne Blockiering um nicht mehr als 50 mm abweichen. Im Verarbeitungsversuch wird die Eignung für bestimmte Anwendungsbedingungen überprüft.

12.9.3 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 12.9.3.a: Beispiel für die Zusammensetzung eines SVB

Ausgangsstoff	Zusammensetzung
Zement	350 kg/m^3
Füller	200 kg/m^3
Fließmittel	1 - 3 % v. Z.
Wasser	180 kg/m^3
Sand 0/2	625 kg/m^3
Kies 2/8	475 kg/m^3
Kies 8/16	475 kg/m^3

12.9.4 Anwendung

- feingliedrige Bauteile
- Bauteile mit komplizierter Geometrie
- Sichtbeton
- Bauteile, die aufgrund von Zugänglichkeit, Lärmschutz oder anderen Bedingungen nicht mechanisch verdichtet werden können

12.10 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 die baulichen Voraussetzungen, damit gemäß § 19g WHG eine Verunreinigung der Gewässer nicht zu besorgen ist.

Nach dieser Richtlinie müssen Betonbauten bei den zu erwartenden Einwirkungen für eine jeweils festgelegte Dauer dicht sein. Ein Betonbauteil gilt als dicht, wenn die Flüssigkeit während der Beaufschlagungsdauer das Bauteil unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes nicht durchdringt.

Die Richtlinie unterscheidet flüssigkeitsdichten Beton (FD-Beton) und flüssigkeitsdichten Beton nach Eindringprüfung (FDE-Beton).

12.10.1 Bemessungsgrundlage

Bemessungsgrundlage für die Dichtheit einer Konstruktion für nicht betonangreifende Flüssigkeiten ist die charakteristische Eindringtiefe e_{tk} (ungerissener Beton) bzw. ew_{tk} (gerissener Beton):

$$e_{tk} = 1,35 \cdot e_{tm} \text{ bzw. } ew_{tk} = 1,35 \cdot ew_{tm}$$

e_{tm} bzw. ew_{tm} – mittlere Eindringtiefe von drei Probekörpern

Im Allgemeinen liegt der Bemessung eine charakteristische Eindringtiefe über 72 h zugrunde ($= e_{tk72}$).

Zur Sicherstellung der Dichtheit ist nachzuweisen, dass

- $h \geq y_e \cdot e_{tk}$ bei ungerissenen Bauteilen
- $x \geq y_e \cdot e_{tk}$ bei biegebeanspruchten Bauteilen
- $w_{cal} \leq w_{crit}/y_f$ oder $h \geq y_e \cdot ew_{tk}$ bei Rissbreitennachweis

mit h – Bauteildicke, e_{tk} – charakteristische Eindringtiefe, x – Druckzonendicke, y_e und y_f – Sicherheitsbeiwerte, w_{cal} – größte rechnerische Rissbreite unter Gebrauchsbeanspruchung, w_{crit} – kritische Rissbreite für Durchdringung der Flüssigkeit

12.10.2 Zusammensetzung des Betons

FD- und FDE-Betone müssen die Anforderungen an Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 erfüllen.

In den Tabellen 12.10.2.a und 12.10.2.b sind die zusätzlich geltenden Anforderungen genannt.

Beton, der nicht alle Anforderungen an FD-Beton erfüllt, darf für Barrieren nach der DAfStB-Richtlinie verwendet werden, wenn er als FDE-Beton projiziert 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 12.10.2.a: Anforderungen an die Ausgangsstoffe für FD- und FDE-Beton

Ausgangsstoff	FD-Beton	FDE-Beton
Zement	<ul style="list-style-type: none"> ■ DIN EN 197, 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-M¹⁾ ■ CEM III/A, CEM III/B 	keine Einschränkung
Gesteinskörnung	<ul style="list-style-type: none"> ■ 16 mm $\leq D_{max} \leq$ 32 mm ■ Sieblinienbereich A/B nach DIN 1045-2 ■ bei Beaufschlagung mit starken Säuren: unlösliche Gesteinskörnung verwenden 	■ $D_{max} \leq$ 32 mm
Zusatzstoff Polymerdispersion	<ul style="list-style-type: none"> ■ wenn für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 zulässig ■ Feststoff- und Flüssiganteil bei $(w/z)_{eq}$ berücksichtigen 	
Zusatzmittel	<ul style="list-style-type: none"> ■ LP-Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 mit LP-Bildner erlaubt 	
Fasern	<ul style="list-style-type: none"> ■ mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ■ bei Stahlfasern: Richtlinie Stahlfaserbeton berücksichtigen ■ Prüfung der Medienbeständigkeit nach Anhang A.7 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 12.10.2.b: Anforderungen an die Betonzusammensetzung und Betoneigenschaften für FD- und FDE-Beton

Anforderung	FD-Beton	FDE-Beton
w/z-Wert bzw. $(w/z)_{\text{eq}}$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Leimvolumen inkl. ange-rechneter Zusatzstoffgehalt	$\leq 290 \text{ l/m}^3$	-
Druckfestigkeitsklasse	$\geq \text{C30/37}$	$\geq \text{C30/37}$
Konsistenz	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei Einbau: F3 ■ weichere Konsistenzen nur, wenn Nachweis, dass Beton nicht entmisch 	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei Einbau: F3 ■ weichere Konsistenzen nur, wenn Nachweis, dass Beton nicht entmisch
weitere Anforderungen	■ Beton darf nicht bluten	■ Beton darf nicht bluten

12.10.3 Ausführung

- Zur Vermeidung von Rissen ist die Differenz zwischen hydratationsbedingter Maximaltemperatur und Umgebungstemperatur möglichst gering zu halten.
- Nachbehandlung:
 - Es gilt DIN 1045-3.
 - Der Beton ist so lange nachzubehandeln, bis 70 % der charakteristischen Festigkeit erreicht sind, jedoch mindestens 7 Tage.
 - 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.

12.10.4 Prüfung der Eindringtiefe

Die Prüfung von FDE-Beton erfolgt in der Regel an einem in der Mantelfläche abgedichteten Bohrkern. Die Eindringtiefe wird am gespaltenen Prüfkörper ermittelt. Für Betone mit Stahlfasern ist die Medienbeständigkeit im gerissenen Zustand nach Anhang A, Abschnitt A.7 an Balken zu prüfen.

12.11 Dränbeton

Dränbeton ist ein haufwerksporiger, hohlraumreicher Beton für Entwässerungsaufgaben. Die Haufwerksporen ergeben sich durch Verwendung einer eng begrenzten Korngruppe, z. B. 5/8 mm, wobei die

Einzelkörner nur an den Kontaktstellen durch eine dünne Zementsteinschicht miteinander verkittet werden.

12.11.1 Eigenschaften

Die Eigenschaften von Dränbeton werden hauptsächlich bestimmt durch:

- Kornaufbau der Gesteinskörnungen
- Stabilität und Adhäsionsverhalten des Zementleims
- Verdichtung

Zur Verbesserung von Frisch- und Festbetoneigenschaften hat sich die Zugabe von Dränbetonzusätzen wie z. B. Polymerdispersionen bewährt:

- Wirkung im Frischbeton:
 - Verbesserung der Verarbeitbarkeit und Stabilisierung des Zementleims auf den Oberflächen der Gesteinskörnung
- Wirkung im Festbeton:
 - verbesserter Haftverbund zwischen Zementstein und Gesteinskörnung sowie Erhöhung des Frost-Tausalz widerstandes

12.11.2 Anwendung

Haufwerksporige Betone werden eingesetzt für Entwässerungsaufgaben (Filterbeton) und lärmreduzierende Maßnahmen (Flüsterbeton). Anwendungen sind z. B.:

- Entwässerung im Straßen-, Tief- und Wasserbau
- Betonfilterrohre, Filtersteine und Filterplatten
- Lärmschutzwände und lärmarme Straßenbetone

12.11.3 Anwendung im Straßenbau

Dränbeton eignet sich insbesondere auch als Fahrbahn-Deckschicht im Straßenbau. Der hohe Hohlraumanteil bewirkt eine sehr schnelle Entwässerung der Fahrbahn. Dadurch wird die Bildung von Aquaplanung und Sprühnebel deutlich reduziert. Als weiterer Effekt des offenporigen Betonbelags ist eine Reduzierung der Reifenabrollgeräusche zu sehen. Damit können die Lärmemissionen gegenüber geschlossenen Betondecken signifikant gesenkt werden.

Im Straßenbau erfolgt der Einbau von Dränbeton mit einem im Asphaltbau üblichen Straßenfertiger. Zur Verbesserung der Haftung auf dem Unterbeton wird eine polymermodifizierte Haftbrücke, verwendet.

Tabelle 12.11.3.a: Rezepturbeispiel für Dränbeton im Straßenbau

Zement	340 kg CEM I 32,5 R
Gesteinskörnung	1450 bis 1550 kg/m ³ Edelsplitt 5/8 mm
w/z-Wert	0,25
Zusatzstoff	65 kg Polymerdispersion

Tabelle 12.11.3.b: Eigenschaften eines Dränbetons im Straßenbau

Frischbeton	
Konsistenz	erdfeucht (Verdichtungsmaß 1,25 bis 1,35)
Festbeton	
Hohlraumgehalt	20 bis 25 Vol.-%
Rohdichte	1,8 bis 2,0 kg/dm ³
Druckfestigkeit $f_{c,cube,28}$	20 bis 30 N/mm ²
Biegezugfestigkeit $f_{ct,28}$	3 bis 4 N/mm ²
Frost-Tausalz-Widerstand	hoch (nach CDF-Prüfung)

12.12 Schaumbeton-Porenleichtbeton

Schaumbeton bzw. Porenleichtbeton (PLB) ist ein Beton mit planmäßig erhöhtem Luftporengehalt von in der Regel > 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.

12.12.1 Herstellung

Es sind zwei Herstellverfahren zu unterscheiden:

- Beim **Einmischverfahren** wird der Porenleichtbeton unter Zugabe eines Schaumbildners (s. Kapitel 3.14) im Zwangsmischer hergestellt (nur Rohdichten > 1,4 kg/dm³ möglich).
- Beim **Schaumverfahren** wird dem Ausgangsbeton, in der Regel auf der Baustelle, ein vorgefertigter Schaum untergemischt. Der Schaum wird mit Hilfe eines Schaumgerätes, z. B. SG 70 oder SG S9 von Sika, und eines Schaumbildners (s. Kapitel 3.14) erzeugt und anschließend dem Frischbeton untergemischt.

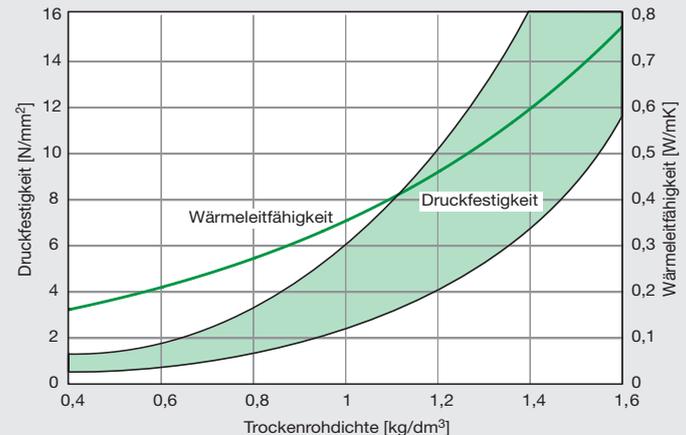
12.12.2 Eigenschaften

Die Rohdichte des Porenleichtbetons kann für den jeweiligen 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 12.12.2.a). Schwinden und Kriechen nehmen mit abnehmender Rohdichte zu.

Abbildung 12.12.2.a: Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit von Porenleichtbeton in Abhängigkeit von der Trockenrohddichte



12.12.3 Anwendung

PLB eignet sich für alle Anwendungsfälle, in 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.

13.1.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe von Beton

Tabelle 13.1.1.a: Anforderungen an die Ausgangsstoffe von Beton

Ausgangsstoff	Anforderung
Zement	<ul style="list-style-type: none"> ■ nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10 oder DIN 1164-11 ■ Verwendung von CEM II/P-Zement nur, wenn als Hauptbestandteil Trass nach DIN 51043 verwendet wird ■ bei Verwendung von nicht genormten Zementen bauaufsichtliche Zulassung erforderlich ■ bei Verwendung von CEM II/M-Zementen nach DIN 1045-2, Tab. F.3.2, Zustimmung des Auftraggebers erforderlich ■ bei Verwendung von CEM III-Zementen in Kappenbeton und Beton für Schutzwände: nur CEM III/A-Zemente mit einem Hüttensandanteil ≥ 50 M.-%
Zusatzstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ■ nach Norm ■ bei Verwendung von nicht genormten Zusatzstoffen bauaufsichtliche Zulassung erforderlich
Zusatzmittel	<ul style="list-style-type: none"> ■ nach DIN EN 934-2 und DIN EN 934-4 ■ bei Verwendung von nicht genormten Zusatzmitteln bauaufsichtliche Zulassung erforderlich
Zugabe-wasser	<ul style="list-style-type: none"> ■ wenn Eignung des Wassers zur Betonherstellung untersucht wurde, Ergebnisse dem Auftraggeber vorlegen
Gesteinskörnungen	<ul style="list-style-type: none"> ■ nach DIN EN 12620 oder DIN EN 13055-1 ■ für grobe Gesteinskörnungen zusätzlich zu den Anforderungen nach DIN 1045-2: <ul style="list-style-type: none"> - Anteil leichtgewichtiger organischer Verunreinigungen $\leq 0,05$ M.-% - bei gebrochenem Korn mindestens S_{20} - enggestufte Kornzusammensetzung - keine Korngemische und natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnungen 0/8 ■ für feine Gesteinskörnungen zusätzlich zu den Anforderungen nach DIN 1045-2: <ul style="list-style-type: none"> - Anteil leichtgewichtiger organischer Verunreinigungen $\leq 0,25$ M.-%

13.1.2 Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Tabelle 13.1.2.a: Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Ausgangsstoff	Anforderung
Gesteinskörnung	<ul style="list-style-type: none"> Größtkorn ≤ 8 mm: mindestens 2 Korngruppen verwenden Größtkorn > 8 mm: mindestens 3 Korngruppen verwenden Ergänzend zur Alkali-Richtlinie des DAfStb (vgl. Kapitel 2.5) sind: <ul style="list-style-type: none"> alle Bauwerke im Bereich von Bundesfernstraßen der Feuchtigkeitsklasse WA zuzuordnen im „angrenzenden Bereich“ nach Bild 2-1 der Alkali-Richtlinie die Gesteinskörnungen durch die Zertifizierungsstelle in eine Alkaliempfindlichkeitsklasse einzustufen Nachweis des Frost-Tau-Widerstandes bei XF2 und XF4: Masseverlust ≤ 8 M.-% gemäß DIN EN 1367-1:2000, Anhang B (NaCl-Verfahren); bei grober Gesteinskörnung und Masseverlust > 8 M.-% alternativ Betonprüfung nach DIN V 18004 (Platten- oder CDF-Verfahren) mit Abwitterung ≤ 500 g/m² und keine Verwitterung mehrerer Gesteinskörner Abwitterung ≥ 500 g/m² bei XF4 durch ergänzende positive Untersuchungen möglich
Zusatzstoffe	<ul style="list-style-type: none"> Gehalt an Flugasche: $f \leq 60$ M.-% vom Zementgehalt anrechenbarer Flugaschegehalt: $f \leq 80$ kg/m³ Zugabe von Flugasche zu Beton mit CEM III/B: zugelassen für Gründungsbauteile (z. B. Bohrpfähle), ansonsten Zustimmung des Auftraggebers erforderlich Silikaustaubzugabe: nur in Form von Silikasuspension (vgl. Kapitel 4.1), Ausnahme: Betontrockengemisch für Spritzbeton gleichzeitige Verwendung von Flugasche und Silikaustaub nur mit Zustimmung des Auftraggebers Anrechenbarkeit von Flugasche auf Zementgehalt und w/z-Wert bei Tunnelinnenschalen und XF2, wenn Bedingungen an die Wasseraufnahme des Betons erfüllt werden (Eignungsprüfung), siehe Tab. 13.1.3.b
Zusatzmittel	<ul style="list-style-type: none"> je Wirkungsgruppe nur ein Betonzusatzmittel keine Zusatzmittel mit den Wirkstoffgruppen Saccharose und Hydroxycarbonsäure 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 Verwendung von Fließmittel der Wirkstoffgruppen Polycarboxylat und Polycarboxylatether nur mit gleichen Betonausgangsstoffen und im gleichen Temperaturbereich wie in der Erstprüfung bei LP-Beton Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen beachten

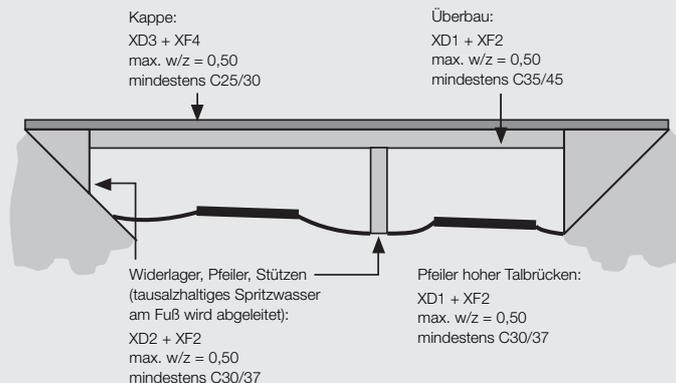
13.1.3 Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Grundsätzlich erfolgt die Zuordnung von Bauteilen zu den Expositionsklassen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2. 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 mit außenliegender Folienabdichtung
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 als wasserundurchlässige Konstruktion ausgeführt
Einfahrtbereiche 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
- Expositionsklasse XF2: max. w/z-Wert = 0,50
- Kappen eingestuft in XF4 und XD3: Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30, max. w/z-Wert = 0,50
- Mindestluftgehalt bei LP-Beton: siehe Tabelle 13.1.4.b

Tabelle 13.1.3.b: Grenzwerte der Betonzusammensetzung

Expositions-klasse	XF2		XF3		XD3 und XF4	XD2	XA2
max. w/z-Wert	0,50	0,50	0,50	0,55	0,50 ²⁾	0,50	0,50
Mindestdruckfestigkeitsklasse	C25/30	C30/37 ¹⁾	C30/37 ¹⁾	C25/30	C25/30 ²⁾	C30/37 ¹⁾	C30/37 ¹⁾
Mindestzementgehalt [kg/m ³]	300	320	320	300	320	320	320
Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Zusatzstoffen [kg/m ³]	keine Anrechnung ³⁾	keine Anrechnung ³⁾	270	270	keine Anrechnung	270	270
Mindestluftgehalt [%]	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 ⁵⁾		F ₂	F ₂	F ₂ ⁵⁾		

Grau gekennzeichnete Zellen: Abweichung von DIN EN 206-1/DIN 1045-2

¹⁾ Gilt nur für Widerlager, Stützen, Pfeiler, Bohrpfähle, Tunnelsohlen, Tunnelwände, Tunnelschalen, Trogsohlen und Trogwände.

²⁾ Gilt nur für Kappen.

³⁾ Bei Beton für Tunnelinnenschalen ist eine Anrechnung von Flugasche auf Zementgehalt und w/z-Wert möglich, wenn in der Eignungsprüfung die kapillare Wasseraufnahme (Sättigungswert) des FA-Betons $\leq 85\%$ der Wasseraufnahme unter Druck (150 bar) und der Sättigungswert des FA-Betons kleiner als der entsprechende Wert des Referenzbetons sind.

⁴⁾ Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen Meerwasser) muss für die Expositionsklasse XA2 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) verwendet werden.

⁵⁾ Zusätzlich Nachweis des Frost-Tau-Widerstandes, siehe Anforderungen an die Gesteinskörnung (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	<ul style="list-style-type: none"> ■ Frischbetontemperatur bei der Herstellung von Tunnelinnenschalen zweischalig ausgeführter Tunnel sowie Tunnelwänden und -decken von Tunneln in offener Bauweise: i.d.R. $T \leq 25^\circ\text{C}$ an der Einbaustelle ■ Luftgehalt des Frischbetons bei LP-Beton: siehe Tabelle 13.1.4.b ■ Zugabe von Fließmittel (FM): <ul style="list-style-type: none"> – 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bestimmung der Druckfestigkeitsklasse im Prüfalter von 28 Tagen; abweichendes Betonalter nach Vereinbarung möglich, muss bei Bemessung und Nachbehandlung berücksichtigt werden. ■ Beton nach Zusammensetzung: Zustimmung des Auftraggebers erforderlich ■ alle sichtbar bleibenden Betonflächen sind in Sichtbeton auszuführen ■ Betonzusammensetzung entsprechend den Empfehlungen des DBV-Merkblattes Sichtbeton

Tabelle 13.1.4.b: Luftgehalt des Frischbetons bei LP-Beton

Größtkorn [mm]	Mittlerer Mindest-Luftgehalt [V.-%] ¹⁾ für Beton der Konsistenz		
	C1 ohne FM oder BV	C2 bzw. F2 und F3 C1 mit FM oder BV	$\geq F4$ 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 Ersprüfung nachgewiesen wird, dass die Grenzwerte für die Luftporenkennwerte entsprechend Tabelle 13.1.4.c eingehalten werden, gilt ein um 1 % niedrigerer Mindestluftgehalt. Für diesen Nachweis 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.

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 \bar{c} [mm]
Erstprüfung	$\geq 1,8$	$\leq 0,20$
Prüfung am Bauwerk und Kontrollprüfungen	$\geq 1,5$	$\leq 0,24$

13.1.5 Nachbehandlung

Der Beton ist durch geeignete Maßnahmen (vgl. Kapitel 10.6.2) vor übermäßigem Verdunsten von Wasser zu schützen. Der Nachbehandlungsumfang und die Nachbehandlungsdauer sind so auszulegen, dass die Temperaturdifferenz im Bauteil möglichst gering gehalten wird. Eine Nachbehandlung gemäß DIN 1045-3, 8.7.2(2) (ohne besondere Maßnahmen bei rel. Luftfeuchte $\geq 85\%$) ist nicht zulässig.

Nachbehandlungsmittel dürfen nicht in Arbeitsfugen und nicht für geschaltete 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 1045-3 muss Beton in den Expositionsklassen 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 10.6.3.b erforderliche Nachbehandlungsdauer zu verdoppeln.

13.2 TL Beton-StB 07, ZTV Beton-StB 07, TP Beton-StB 08 – Regelwerke für den Betonstraßenbau

Für den Betonstraßenbau gilt ein dreiteiliges Regelwerk:

- TL Beton-StB 07 für die Lieferung der Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton
- ZTV Beton-StB 07 für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton
- TP Beton-StB 08 für die Prüfung der Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton

Die TL Beton-StB 07 „Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“ gelten für die Herstellung von Oberbauschichten im Straßen- und Wegebau sowie für andere Verkehrsflächen. Die TL Beton-StB enthalten u. a. Anforderungen an den Beton, seine Ausgangsstoffe und an Nachbehandlungsmittel.

Die ZTV Beton-StB 07 regeln den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und von Fahrbahndecken aus Beton. Die Vorschriften enthalten u. a. 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 TP Beton-StB 08 enthalten die Prüfvorschriften für Baustoffe und Baustoffgemische.

Soweit die genannten Vorschriften keine anderslautenden Regelungen enthalten, gelten DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Wichtige Anforderungen der TL Beton-StB und ZTV Beton-StB an den Beton, seine Ausgangsstoffe und an die Deckenherstellung sind im Folgenden aufgeführt:

13.2.1 Expositionsklassen

Die Anforderungen an den Beton hinsichtlich Expositionsklasse sind von der Bauklasse der Straße abhängig:

Tabelle 13.2.1.a: Zuordnung von Fahrbahndeckenbeton zu den Expositionsklassen

Bauklasse	Beton	Expositionsklasse	Feuchtigkeitsklasse
SV, I, II, III	Oberbeton	XF4, XM2 ¹⁾	WS
	Unterbeton	XF4	WS
IV, V, VI	Oberbeton	XF4, XM1 ¹⁾	WA
	Unterbeton	XF4	WA

¹⁾ Bei Waschbeton entfällt die Obergrenze des Zementgehaltes nach DIN 1045-2

13.2.2 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Tabelle 13.2.2.a: Anforderungen an Zemente für Fahrbahndeckenbeton

Zementart nach DIN EN 197-1 oder DIN 1164-10	Zusätzliche Anforderungen
CEM I 32,5 R oder CEM I 42,5 N CEM II/A-S ¹⁾ CEM II/B-S ¹⁾ CEM II/A-T ¹⁾ CEM II/B-T ¹⁾ CEM III/A-LL ¹⁾ CEM III/A (≥ 42,5 N) ¹⁾ Für frühhochfesten Straßenbeton mit FM: CEM I mindestens 42,5 R	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wasseranspruch ≤ 28,0 M.-% ²⁾ ■ 2-Tage-Druckfestigkeit ≤ 29,0 N/mm² ²⁾ ■ spez. Oberfläche ≤ 3500 cm²/g ²⁾ ■ Na₂O Äquivalent: Siehe Tabelle 13.2.2.b ■ Erstarrungsbeginn bei 20 °C ≥ 2 h ³⁾ ■ Zementtemperatur soll bei Verarbeitung < 80 °C sein ■ Ober- und Unterbeton mit gleicher Zementart und -festigkeitsklasse ⁴⁾

¹⁾ Festigkeitsklassen 32,5 oder 42,5, Zustimmung des Auftraggebers erforderlich.

²⁾ Gilt nur für CEM I 32,5 R.

³⁾ Gilt nicht für Zemente für frühhochfesten Straßenbeton.

⁴⁾ Bei zweischichtiger Herstellung der Decke.

Tabelle 13.2.2.b: Anforderungen an den Alkaligehalt von Zementen für den Bau von Fahrbahndecken

Zement	Hüttensandgehalt [M.-%]	Na ₂ O-Äquivalent [M.-%]	Na ₂ O-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 13.2.2.c: Anforderungen an Gesteinskörnungen für Fahrbahndeckenbeton

Vorschrift	Beton	Zusätzliche Anforderungen
TL Beton-StB bzw. TL-Gestein-StB	Oberbeton bzw. einschichtige Betonfahrbahndecke	<ul style="list-style-type: none"> ■ hoher Frost-Tausalz-Widerstand: Masseverlust ≤ 8 M.-% ²⁾³⁾⁴⁾ ■ organische Verunreinigungen: <ul style="list-style-type: none"> - feine Gesteinskörnung: ≤ 0,25 M.-% - grobe Gesteinskörnung: ≤ 0,05 M.-% ■ Kornform: <ul style="list-style-type: none"> - Gesteinskörnungen > 8 mm: ≥ 50 M.-% gebrochenes Material der Kategorie C_{90/1} ⁵⁾ - Gesamtkornmisch: ≥ 35 M.-% gebrochenes Material der Kategorie C_{90/1} ⁵⁾ - Kornmisch D ≤ 8 mm: Korngruppe d ≥ 2 mm der Kategorie C_{100/0} oder C_{90/1} - Kornform der gebrochenen Gesteinskörnungen: Fl₂₀ oder Sl₂₀ ⁶⁾ ■ Polierwiderstand: ⁷⁾ <ul style="list-style-type: none"> - Bauklassen IV bis VI : PSV_{angegeben} (42) - Bauklassen SV, I bis III (D > 8): PSV_{angegeben} (48) - Bauklassen SV, I bis III (0/8): PSV_{angegeben} (48), PSV_{angegeben} (53) (Waschbeton) ■ Es gelten die Regelungen der Alkali-Richtlinie des DAfStb ■ Verwendung von Gesteinskörnung der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S nur nach Gutachten ⁸⁾
	Unterbeton ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> ■ hoher Frost-Widerstand: F₂ ■ leichtgewichtige organische Verunreinigungen: siehe Oberbeton ■ Es gelten die Regelungen der Alkali-Richtlinie des DAfStb ■ Verwendung von Gesteinskörnung der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S nur nach Gutachten 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 2001 gilt: Masseverlust ≤ 5 M.-%.

⁴⁾ Grobe Gesteinskörnungen mit einem Masseverlust > 8 M.-% dürfen nur eingesetzt werden, wenn die Prüfung am Beton nach DIN 1045-2, Tabelle U.2 einen Masseverlust ≤ 500 g/m² ergibt.

⁵⁾ Gilt nur für Bauklassen SV, I bis III.

⁶⁾ Bei zweischichtiger Herstellung mit einem Oberbeton (0/8): Fl₁₅ oder Sl₁₅ für Kornanteil > 2 mm und ≤ 8 mm.

⁷⁾ Polierwiderstand nach TL-Gestein StB 04

⁸⁾ Zugelassene Gutachter lt. ARS Nr. 12/2006: MPA Eckernförde, wti-bau GmbH Untellenborn, Uni Weimar oder VDZ, Düsseldorf.

Tabelle 13.2.2.d: Anforderungen an Zugabewasser, Betonzusatzstoffe und -zusatzmittel für Fahrbahndeckenbeton

Ausgangsstoff	Zusätzliche Anforderungen
Betonzusatzstoffe	<ul style="list-style-type: none"> keine Anrechnung auf den Zementgehalt und den w/z-Wert
Betonzusatzmittel	<ul style="list-style-type: none"> Wirksamkeitsprüfung erforderlich bei: <ul style="list-style-type: none"> LP + FM und LP + BV: Abstandsfaktor $\leq 0,2$ mm, Mikro-Luftporengehalt $\geq 1,5$ 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	<ul style="list-style-type: none"> Restwasser darf nicht zugegeben werden

13.2.3 Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Tabelle 13.2.3.a: Anforderungen an die Zusammensetzung von Fahrbahndeckenbeton

Ausgangsstoff	Anforderung
Zementgehalt	<ul style="list-style-type: none"> Festlegung nach Erstprüfung Bauklasse SV, I bis III: ≥ 340 kg/m³ Waschbeton: ≥ 420 kg/m³
w/z-Wert	<ul style="list-style-type: none"> Bauklassen SV, I bis III: $\leq 0,45$ Bauklassen IV bis VI: $\leq 0,50$
Feinkörnige Bestandteile $\leq 0,25$ mm	<ul style="list-style-type: none"> allgemein: ≤ 450 kg/m³ bei D_{\max} 8 mm: ≤ 500 kg/m³ für Beton mit Fließmittel: ≤ 500 kg/m³ Waschbeton: > 500 kg/m³ zulässig
Gesteinskörnung	<ul style="list-style-type: none"> mindestens erforderliche Korngruppen: <ul style="list-style-type: none"> Bauklassen SV, I bis III: <ul style="list-style-type: none"> $D_{\max} > 8$ mm: 0/2, 2/8, > 8 oder 0/4, 4/8, > 8 $D_{\max} = 8$ mm: 0/2, ≤ 8 Bauklassen IV bis VI: 0/4, > 4 Anteil feiner Gesteinskörnungen mit $D_{\max} \leq 2$ mm:¹⁾ <ul style="list-style-type: none"> Siebdurchgang durch 1 mm Sieb: ≤ 27 M.-% Siebdurchgang durch 2 mm Sieb: ≤ 30 M.-%²⁾
Betonzusatzmittel	<ul style="list-style-type: none"> Frühhochfester Beton mit Fließmittel: <ul style="list-style-type: none"> keine Erhärtungsverzögerung durch das Fließmittel Bauklassen IV bis VI: BV anstelle von FM zulässig

¹⁾ Gilt nur in den Bauklassen SV, I bis III bei einschichtiger und bei zweischichtiger Bauweise für den Oberbeton.

²⁾ Bei Beton mit D_{\max} 8 mm: ≤ 35 M.-%

13.2.4 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton

Tabelle 13.2.4.a: Luftgehalt des Frischbetons mit 22 bzw. 32 mm Größtkorn

Beton	Mindestluftgehalt des Frischbetons [Vol.-%] ¹⁾	
	im Tagesmittel	Einzelwerte
ohne BV oder FM	4,0	3,5
mit BV und/oder FM ²⁾³⁾	5,0	4,5

¹⁾ Der Mindestluftgehalt des Frischbetons ist bei Zuschlaggemischen mit 16 mm Größtkorn um 0,5 Vol.-%, mit 8 mm Größtkorn um 1,5 Vol.-% zu erhöhen.

²⁾ Werden bei der Erstprüfung die Luftporenkennwerte bestimmt und ein Abstandsfaktor $\bar{L} \leq 0,20$ mm sowie ein Mikroluftporengehalt $A_{300} \geq 1,8$ Vol.-% erzielt, ist ein Mindestluftgehalt wie für Beton ohne BV oder FM ausreichend.

³⁾ Bei Konsistenzklasse F6 sind die Luftporenkennwerte immer nachzuweisen.

Tabelle 13.2.4.b: Anforderungen an die Festigkeiten von Fahrbahndeckenbeton

Bauklasse	Druckfestigkeitsklasse	Biegezugfestigkeitsklasse
SV, I bis IV	C30/37	F 4,5
V bis VI		F 3,5

13.2.5 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 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.

13.3 ZTV-W für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton

Die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton“ gelten für den Bau von Schleusen, Wehren, Sperrwerken, Schöpfwerken, Dükern, Durchlässen, Hafenu-

ten, Uferwänden usw. einschließlich Nebenanlagen, jedoch nicht für Straßen- und Eisenbahnbrücken sowie Tunnel. Sie gelten in Verbindung mit DIN EN 206-1 sowie DIN 1045-1 bis DIN 1045-4.

13.3.1 Expositionsclassen

Tabelle 13.3.1.a: Zuordnung von Bauteilen zu den Expositionsclassen (Beispiele)

Expositions-klasse	Beispiele aus dem Wasserbau ¹⁾
X0	Unbewehrter Kernbeton bei zonierter Bauweise
XC1	Sohlen von Schleusenammern, Sparbecken oder Wehren, Schleusenammerwände unterhalb UW ²⁾ , hydraulische Füll- und Entleersysteme
XC2	Schleusenammerwände im Bereich zwischen UW ²⁾ und OW ²⁾
XC3	Nicht frei bewitterte Flächen (Außenluft, vor Niederschlag geschützt)
XC4	Freibord von Schleusenammer- oder Sparbeckenwänden, Wehrpfeiler oberhalb NW ²⁾ , freibewitterte Außenflächen
XD1	Wehrpfeiler im Sprühnebelbereich von Straßenbrücken
XD2	-
XD3	Plattformen von Schleusen, Verkehrsflächen, Treppen an Wehrpfeilern
XS1	Außenbauteile in Küstennähe
XS2	Spernerksohlen, Wände und Gründungspfähle unter NNTnW ²⁾
XS3	Gründungspfähle, Kajen, Molen und Wände oberhalb NNTnW ²⁾
XF1	Freibord von Sparbeckenwänden, Wehrpfeiler oberhalb HW ²⁾
XF2	Vertikale Bauteile im Spritzwasserbereich und Bauteile im unmittelbaren Sprühnebelbereich von Meerwasser
XF3	Schleusenammerwände im Bereich zwischen UW ²⁾ – 1,0 m und OW ²⁾ + 1,0 m, Ein- und Auslaufbereiche von Dückern 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, Flächen mit mäßiger Geschiebefracht und mäßiger Strömungsgeschwindigkeit, häufig befahrene horizontale Verkehrsflächen, Eisgang
XM2	Wehrrücken und Tosbecken mit mäßiger Geschiebefracht und hoher Strömungsgeschwindigkeit
XM3	Tosbecken mit starker Geschiebefracht und hoher Strömungsgeschwindigkeit

Fußnoten siehe nächste Seite ►

- ¹⁾ Beispiele gelten für die überwiegende Beanspruchung während der Nutzungsdauer.
²⁾ UW – Unterwasser, OW – Oberwasser, NW – Niedrigwasser, HW – Hochwasser, NNTnW – Tideniedrigwasser bezogen auf Normalnull.

13.3.2 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Tabelle 13.3.2.a: Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Ausgangsstoff	Anforderung
Zement	<ul style="list-style-type: none"> ■ folgende Zemente nach DIN EN 197-1, DIN EN 197-4 und DIN 1164: <ul style="list-style-type: none"> – CEM I – CEM II/A-S, CEM II/B-S – CEM III/A-T, CEM III/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 ■ andere Zemente mit Zustimmung des Auftraggebers
Gesteinskörnung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 sowie leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1 ■ industriell hergestellte Gesteinskörnungen mit Zustimmung des Auftraggebers ■ Unschädlichkeit von Feinteilen feiner Gesteinskörnungen ist nachzuweisen ■ Nachweis des Frostwiderstands oder des Frost-Tausalz-Widerstands darf i. d. R. während der Bauausführung nicht älter als 6 Monate sein ■ rezyklierte Gesteinskörnungen nur mit Zustimmung des Auftraggebers
Zugabewasser	<ul style="list-style-type: none"> ■ nach DIN EN 1008 ■ anderes Wasser als Trinkwasser, Brunnenwasser oder Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung nur mit Zustimmung des Auftraggebers
Zusatzmittel	<ul style="list-style-type: none"> ■ BV, FM, LP, VZ ■ andere Zusatzmittel nur mit Zustimmung des Auftraggebers
Zusatzstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ■ Flugasche nach DIN EN 450-1 oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ■ zusätzliche Anforderungen nach Bauregelliste sind zu beachten ■ Wechsel der Flugasche bei Lieferengpässen nur nach Abstimmung mit dem Auftraggeber und neuen Eignungsprüfungen ■ Silikastaub nur mit Zustimmung des Auftraggebers

13.3.3 Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Tabelle 13.3.3.a: Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Ausgangsstoff	Anforderung
Zement	<ul style="list-style-type: none"> ■ nur Zement eines Zementwerkes ■ mehrere Zementarten in einem Beton sind nicht zulässig
Gesteinskörnung	<ul style="list-style-type: none"> ■ stetige Sieblinie zwischen A und B ■ bei $D_{max} > 8$ mm mindestens 3 getrennte Korngruppen ■ massige Bauteile: $D_{max} \approx 32$ mm ■ leichtgewichtige organische Verunreinigungen <ul style="list-style-type: none"> – feine Gesteinskörnungen: $\leq 0,25$ M.-% – grobe Gesteinskörnungen: $\leq 0,05$ M.-% ■ Kornform von gebrochenen groben Gesteinskörnungen mindestens SI_{40} ■ Zertrümmerungswiderstand von Gesteinskörnungen aus gebrochenem Felsgestein mindestens LA_{50} oder SZ_{52} ■ 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 Einführungslerass
Zusatzmittel	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 Hydroxycarbonensäure ■ Verwendung von Fließmittel der Wirkstoffgruppen Polycarboxylat und Polycarboxylatether erlaubt; Bedingung: gleiche Betonausgangsstoffe und gleicher Temperaturbereich wie in der Erstprüfung ■ einmalige Nachdosierung von Fließmitteln erlaubt; Bedingung: Konsistenz vor Nachdosierung darf nicht steifer sein als vor der Erstdosierung auf der Baustelle ■ bei Beton, der auf der Baustelle hergestellt wird, nachträgliche Fließmittelzugabe nur mit Zustimmung des Auftraggebers ■ Verzögerungszeiten > 12 h sind mit dem Auftraggeber abzustimmen

13.3.4 Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Für die Grenzwerte der Betonzusammensetzung sind abweichend von DIN EN 206-1/DIN 1045-2 die in Tabelle 13.3.4.a aufgeführten Regelungen zu beachten.

Tabelle 13.3.4.a: Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Expositionsklasse	Anforderung
XC2	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mindestdruckfestigkeitsklasse für tragende Bauteile: C20/25 ■ $w/z \geq 0,65$ nur mit Zustimmung des Auftraggebers
XF3	<ul style="list-style-type: none"> ■ Frostwiderstandsklasse der Gesteinskörnungen: F_1 ■ Frostprüfungen am Festbeton nach Merkblatt der Bundesanstalt für Wasserbau im Rahmen der Erstprüfung erforderlich
XF4	<ul style="list-style-type: none"> ■ Frostprüfungen am Festbeton nach Merkblatt der Bundesanstalt für Wasserbau im Rahmen der Erstprüfung erforderlich
XD3, XS3	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verwendung von hüttensandhaltigen Zementen mit ≥ 21 % Hüttensand oder Mindestflugasgehalt 50 kg/m^3 ¹⁾
XM2	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mindestdruckfestigkeitsklasse: C35/45 ■ $w/z \leq 0,45$ ■ Mindestzementgehalt: 320 kg/m^3

¹⁾ Gilt nicht für Plattformen, die den Expositionsklassen XD3 und XF4 zuzuordnen sind.

Besondere Vereinbarungen für massige Bauteile sind bei Meerwasserangriff oder den Expositionsklassen XA2 bzw. XA3 im Bauvertrag zu treffen.

13.3.5 Anforderungen an den Frisch- und Festbeton

Tabelle 13.3.5.a: Anforderungen an den Frisch- und Festbeton

Beton	Anforderung
Frischbeton	<ul style="list-style-type: none"> ■ Festlegung der Konsistenz über einen Zielwert ± 30 mm (zul. Toleranz) ■ Beton der Ausbreitmaßklassen > F4 nur mit Zustimmung des Auftraggebers (Ausnahme: Beton für gestaltete Ansichtsflächen) ■ Beton der Konsistenzklassen \geq F4 ist mit verflüssigenden Zusatzmitteln herzustellen; die Ausgangskonsistenz muss \leq F2 sein. ■ Bei gleichzeitiger Verwendung von BV/FM und LP sowie bei LP-Beton \geq F3: Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% erhöhen. ■ Bei zu vakuumierenden Betonen und XF2, XF3 oder XF4: Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% erhöhen. ■ Frischbetontemperatur: <ul style="list-style-type: none"> ■ Beton für Bauteile mit Abmessung $\leq 0,80$ m: $\leq + 30$ °C an der Übergabe- und Einbaustelle ■ Beton für massige Bauteile: <ul style="list-style-type: none"> ■ $\leq + 25$ °C an der Übergabe- und Einbaustelle <u>und</u> ■ maximale Temperaturerhöhung $\Delta T_{\text{qadiab},7d}$: siehe Tabelle 13.3.5.b <u>und</u> ■ maximale Bauteiltemperatur $\Delta T_{\text{qadiab},7d} + T_{\text{Beton}}$: siehe Tabelle 13.3.5.b ■ Nachträgliche Wasserzugabe ist nicht erlaubt.
Festbeton	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nachweis der Druckfestigkeitsklasse: <ul style="list-style-type: none"> ■ 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: $f_{\text{cm},28} \leq$ Grenzwert aus Tabelle 13.3.5.b ■ Wassereindringtiefe nach DIN EN 12390-8: ≤ 30 mm

Tabelle 13.3.5.b: Anforderungen an die Betontemperatur bei massigen Bauteilen (> 0,80 m)

Expositions-klasse	$\Delta T_{\text{qadiab},7d}$ ¹⁾ [K]	$\Delta T_{\text{qadiab},7d} + T_{\text{Beton}}$ [°C]	$f_{\text{cm},28}$ ²⁾ [N/mm ²]
XC1, XC2	≤ 31	≤ 53	≤ 41
XC1, XC2 + XA1	≤ 36	≤ 56	≤ 46
XC1...4 + XF3 (+ XM1)	≤ 41	≤ 61	
XC1...4 + XF4 + XS3 + XA2 (+ XM1)	≤ 43	≤ 63	
XC1...4 + XF4 + XD3 (+ XM1)			

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) Kann für massige Bauteile (siehe Tabelle 13.3.5.a) auch als $f_{\text{cm},56}$ bestimmt werden.

13.3.6 Eignungsprüfung

Im Rahmen der Eignungsprüfung sind mindestens folgende Standardprüfungen durchzuführen:

- visuelle Beurteilung der Frischbetoneigenschaften (z. B. Wasserabsondern, Zusammenhaltevermögen, Fließverhalten und Absetzverhalten)
- Frischbetontemperatur
- Konsistenz des Frischbetons
- Druckfestigkeit inkl. Festigkeitsentwicklung $r = f_{\text{cm},2}/f_{\text{cm},28}$
- Spaltzugfestigkeit
- Wassereindringwiderstand

Für bestimmte Betone und Expositions-klassen sind zusätzliche Prüfungen erforderlich:

- verzögerter Beton: Ansteifverhalten
- LP-Beton: Luftgehalt im Frischbeton am Einbauort
- massige Bauteile: quasiadiabatische Temperaturerhöhung, statischer E-Modul
- 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/m³ bis $+10$ kg/m³ begrenzt.

13.3.7 Nachbehandlung

Andere Nachbehandlungsverfahren als in DIN 1045-3, 8.7.2(3) genannt, sowie die Anwendung von Nachbehandlungsmitteln erfordern die Zustimmung des Auftraggebers.

Tabelle 13.3.7.a: Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton für Wasserbauwerke

Nachbehandlung	Mindestdauer [d]			
	Festigkeitsentwicklung des Betons $r = f_{cm,2}/f_{cm,28}^{1)}$			
	$r \geq 0,50$	$r \geq 0,30$	$r \geq 0,15$	$r < 0,15$
Gesamtnachbehandlung ^{2) 3) 4)}	4	10	14	21
Belassen in der Schalung bei geschälten Betonoberflächen ^{3) 5)}	2	5	7	10

¹⁾ Zwischenwerte dürfen ermittelt werden.

²⁾ NB-Zeit bei Verarbeitbarkeitszeit > 5 Std. 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 d.

⁵⁾ Verkürzung der Schalzeit nur bei Verwendung wasserabführender Schalungsbahnen und mit Zustimmung des Auftraggebers.

14 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 geltenden Normen für Estrich sind der nachfolgenden Tabelle 14.a zu entnehmen. Die europäischen Normen regeln die Anforderungen an das Produkt, die nationale Normenreihe DIN 18560 regelt die Anwendung.

Tabelle 14.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 (Industriestriche)

14.1 Estricharten

- Zementestrich: CT (Cementitious screed)
- Calciumsulfatestrich: CA (Calcium sulfate screed)
- Magnesiaestrich: MA (Magnesite screed)
- Gussasphaltestrich: AS (Mastic asphalt screed)
- Kunstharzestrich: SR (Synthetic resin screed)

Estriche werden ausgeführt als:

- Estrich auf Trennschicht
- Estrich auf Dämmschicht
- Verbundestrich

14.2 Klassifizierung

Zement- und Calciumsulfatestriche werden anhand der in Tabelle 14.2.a dargestellten Kriterien klassifiziert.

Tabelle 14.2.a: Estrichklassen

Eigenschaft	Klassen
Druckfestigkeit	C5, C7, C12, C16, C20, C25, C30, C35, C40, C50, C60, C70, C80
Biegezugfestigkeit	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F10, F15, F20, F30, F40, F50
Verschleißwiderstand nach Böhme ¹⁾	A22, A15, A12, A9, A6, A3, A1,5
Oberflächenhärteklassen ²⁾	SH30, SH40, SH50, SH70, SH100, SH150, SH200
Widerstand gegen Rollbeanspruchung ³⁾	RWFC150, RWFC250, RWFC350, RWFC450, RWFC550
Biegezugelastizitätsmodulklassen ⁴⁾	E1, E2, E5, E10, E20, E25, E30, E35, ...
Haftzugfestigkeitsklassen ⁴⁾	B0,2, B0,5, B1,0, B1,5, B2,0

¹⁾ Gilt nur für Zementestriche, die als Nutzfläche verwendet werden.

²⁾ Gilt für Magnesiaestriche und darf bei sonstigen Estrichen mit $D_{\max} < 4$ mm angegeben werden.

³⁾ Darf für Estrich angegeben werden, die mit einem Bodenbelag versehen werden.

⁴⁾ Keine verpflichtende Prüfung; darf angegeben werden.

Die Einstufung von Zement- und Calciumsulfatestrichen erfolgt nach den in Tabelle 14.2.b und 14.2.c angegebenen Festigkeitsklassen. Zusätzlich können optional Anforderungen an die in Tabelle 14.2.a genannten Eigenschaften gestellt werden.

Tabelle 14.2.b: Druckfestigkeitsklassen für die Einteilung von Estrichen

Klasse	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C70	C80
Druckfestigkeit [N/mm ²]	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80

Tabelle 14.2.c: Biegezugfestigkeitsklassen für die Einteilung von Estrichen

Klasse	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Biegezugfestigkeit [N/mm ²]	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

Beispiele für die Bezeichnung von Estrichen:

Zementestrichmörtel, Festigkeitsklassen C20 und F4:

- EN 13813 CT-C20-F4

Calciumsulfatestrich, Druckfestigkeitsklasse C20, Biegezugfestigkeitsklasse F4 und Haftzugfestigkeitsklasse B1,5:

- EN 13813 CA-C20-F4-B1,5

14.3 Mindestanforderungen in Abhängigkeit von der Ausführungsart

Tabelle 14.3.a: Anforderungen an Estriche auf Trennschicht und Verbundestriche

Ausführungsart		Zement- bzw. Calciumsulfatestrich	
		Festigkeitsklasse	Nennstärke [mm]
Verbundestrich	mit Belag	≥ C20/F3	≤ 50 ¹⁾
	ohne Belag	≥ C25/F4	
Estrich auf Trennschicht	mit Belag	≥ F4	≥ 35 ²⁾
	ohne Belag		

¹⁾ Gilt für einschichtigen Estrich

²⁾ Mindestnennstärke für Calciumsulfatestrich: 30 mm

Tabelle 14.3.b: Mindestanforderungen an Estriche und Heizestriche auf Dämmschicht (schwimmender Estrich)

Estrichart	Biegezugfestigkeitsklasse	Nenndicke ¹⁾ [mm] bei lotrechten Nutzlasten von ...			
		$\leq 2 \text{ kN/m}^2$ ²⁾	$\leq 3 \text{ kN/m}^2$ ^{2) 4)}	$\leq 4 \text{ kN/m}^2$ ^{5) 6)}	$\leq 5 \text{ kN/m}^2$ ^{5) 7)}
Zementestrich	$\geq \text{F4}$	≥ 45	≥ 65	≥ 70	≥ 75
	$\geq \text{F5}$	≥ 40	≥ 55	≥ 60	≥ 65
Calciumsulfatestrich	$\geq \text{F4}$	≥ 45	≥ 65	≥ 70	≥ 75
	$\geq \text{F5}$	≥ 40	≥ 55	≥ 60	≥ 65
	$\geq \text{F7}$	≥ 35	≥ 50	≥ 55	≥ 60
Calciumsulfatfließestrich	$\geq \text{F4}$	≥ 35	≥ 50	≥ 60	≥ 65
	$\geq \text{F5}$	≥ 30	≥ 45	≥ 50	≥ 55
	$\geq \text{F7}$	≥ 30	≥ 40	≥ 45	≥ 50

¹⁾ Bei Heizestrichen der Bauart A (Heizelement im Estrich) ist die Mindestnenndicke um den Außendurchmesser des Heizrohrs zu erhöhen.

²⁾ Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht $\leq 5 \text{ mm}$

³⁾ Bei höherer Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht ($\leq 10 \text{ mm}$) muss die Nenn- dicke um 5 mm erhöht werden.

⁴⁾ Einzellasten $\leq 2 \text{ kN}$, Flächenlasten $\leq 3 \text{ kN/m}^2$

⁵⁾ Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht $\leq 3 \text{ mm}$

⁶⁾ Einzellasten $\leq 3 \text{ kN}$, Flächenlasten $\leq 4 \text{ kN/m}^2$

⁷⁾ Einzellasten $\leq 4 \text{ kN}$, Flächenlasten $\leq 5 \text{ kN/m}^2$

14.4 Konformitätskontrolle

Die Konformitätskontrolle umfasst:

- Erstprüfung
- werkseigene Produktionskontrolle (Eigenüberwachung)

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 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.

14.5 Ausführung

Zementestrich

- Mindesttemperatur des Estrichs beim Einbau: $5 \text{ }^\circ\text{C}$, danach mindestens 3 Tage $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 bis 3 M.-% (bei dampfdichten Belägen auch niedriger)

Calciumsulfatestrich

- Mindesttemperatur des Estrichs beim Einbau: $5 \text{ }^\circ\text{C}$, danach mindestens 2 Tage bei mindestens $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 $\leq 1 \text{ M.-%}$ (bei dampfdichten Belägen $\leq 0,5 \text{ M.-%}$)

15 Mauermörtel

15.1 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 auszunutzen 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, welcher Mauermörtel, der Mörtel gemäß DIN EN 998-2 und DIN V 20000-412 oder gemäß DIN EN 998-2 und DIN V 18580, zur Anwendung kommt.

15.2 Begriffe

Normalmauermörtel

Mauermörtel ohne besondere Eigenschaften.

Leichtmauermörtel

Mauermörtel nach Eignungsprüfung mit einer Trockenrohdichte des Festmörtels unterhalb eines bestimmten Wertes (s. Tabelle 15.4.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).

15.3 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Tabelle 15.3.a: Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Ausgangsstoff	Anforderung nach	
	DIN V 20000-412	DIN V 18580
Bindemittel	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zemente nach DIN EN 197-1 oder DIN 1164-10, die nach Tabellen 6.3.3.a bis Tabelle 6.3.3.c für XF3 zulässig sind. ■ Putz- und Mauerbinder nach DIN 4211²⁾ ■ Baukalke nach DIN EN 459-1 	
Gesteinskörnungen ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> ■ nach DIN EN 13139: <ul style="list-style-type: none"> - natürliche Gesteinskörnungen - industriell hergestellte Gesteinskörnungen ■ nach DIN EN 13055-1: <ul style="list-style-type: none"> - 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ Baukalke nach DIN EN 459-1 ■ Gesteinsmehle nach DIN EN 12620 ■ Trass nach DIN 51043 ■ Flugasche nach DIN EN 450-1 ■ Pigmente nach DIN EN 12878 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Baukalke nach DIN EN 459-1 ■ Gesteinsmehle nach DIN EN 12620 ■ Trass nach DIN 51043 ■ Flugasche nach DIN EN 450-1
Zusatzmittel	<ul style="list-style-type: none"> ■ nach DIN EN 934-2 bzw. mit bauaufsichtlicher Zulassung ■ andere nur mit Nachweis der Unschädlichkeit (Prüfung des Halogengehaltes 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.

²⁾ Ersetzt durch DIN EN 413-1

15.4 Anforderungen an Mauermörtel nach Eignungsprüfung

Tabelle 15.4.a: Anforderungen an Normalmauermörtel

Eigenschaft	Anforderung nach	
	DIN V 20000-412	DIN V 18580
Trockenrohdichte	≥ 1500 kg/m ³	
Druckfestigkeit	siehe Tabelle 15.4.d	
Verbundfestigkeit ¹⁾ [N/mm ²]	<ul style="list-style-type: none"> ■ MG I: - ■ MG II: ≥ 0,04 ²⁾ ■ MG IIa: ≥ 0,08 ²⁾ ■ MG III: ≥ 0,10 ²⁾ ■ MG IIIa: ≥ 0,12 ²⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ MG I: - / - ³⁾ ■ MG II: ≥ 0,04 / ≥ 0,10 ³⁾ ■ MG IIa: ≥ 0,08 / ≥ 0,20 ³⁾ ■ MG III: ≥ 0,10 / ≥ 0,25 ³⁾ ■ MG IIIa: ≥ 0,12 / ≥ 0,30 ³⁾
Chloridgehalt	≤ 0,1 M.-% bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels	
Brandverhalten	Baustoffklasse A 1	

- ¹⁾ 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.
- ²⁾ Prüfung der Haftscherfestigkeit nach DIN EN 1052-3. Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.
- ³⁾ Erster Wert: gilt bei Prüfung der Haftscherfestigkeit nach DIN EN 1052-3; zweiter Wert: gilt bei Prüfung der Haftscherfestigkeit nach DIN 18555-5. Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.

Tabelle 15.4.b: Anforderungen an Leichtmauermörtel

Eigenschaft	Anforderung nach	
	DIN V 20000-412	DIN V 18580
Trockenrohdichte	<ul style="list-style-type: none"> ■ LM 21: ≤ 700 kg/m³ ■ LM 36: > 700 kg/m³ und ≤ 1000 kg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ LM 21 ¹⁾: ≤ 700 kg/m³ ■ LM 36 ¹⁾: ≤ 1000 kg/m³
Wärmeleitfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ LM 21: ≤ 0,18 W/(m·K) ■ LM 36: ≤ 0,27 W/(m·K) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ LM 21 ²⁾: ≤ 0,18 W/(m·K) ■ LM 36 ²⁾: ≤ 0,27 W/(m·K)
Druckfestigkeit	siehe Tabelle 15.4.d	
Verbundfestigkeit ³⁾ [N/mm ²]	≥ 0,08 ⁴⁾	<ul style="list-style-type: none"> ■ LM 21: ≥ 0,08 / ≥ 0,20 ⁵⁾ ■ LM 36: ≥ 0,08 / ≥ 0,20 ⁵⁾
Längsdehnungsmodul E _l ⁶⁾		<ul style="list-style-type: none"> ■ LM 21: ≥ 2000 N/mm² ■ LM 36: ≥ 3000 N/mm²
Querdehnungsmodul E _q ⁶⁾		<ul style="list-style-type: none"> ■ LM 21: ≥ 7500 N/mm² ■ LM 36: ≥ 15000 N/mm²
Chloridgehalt	≤ 0,1 M.-% bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels	
Brandverhalten	Baustoffklasse A 1	

- ¹⁾ Bei Einhaltung des Grenzwertes gelten die Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit ohne weiteren Nachweis als erfüllt. Wird die Wärmeleitfähigkeit nachgewiesen, sind auch höhere Trockenrohdichten bis zu 1300 kg/m³ möglich.
- ²⁾ Die Wärmeleitfähigkeit ist nur bei Überschreitung der Grenzwerte für die Trockenrohdichte nachzuweisen; die Trockenrohdichte darf den Wert von 1300 kg/m³ nicht überschreiten.
- 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 Leichtmauermörtel gilt danach der Wert 0,15 N/mm².
- ⁴⁾ Prüfung der 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 Haftscherfestigkeit nach DIN 18555-5. Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.
- ⁶⁾ Prüfung nach DIN 18555-4.

Tabelle 15.4.c: Anforderungen an Dünnbettmörtel

Eigenschaft	Anforderung nach	
	DIN V 20000-412	DIN V 18580
Trockenrohdichte	≥ 1500 kg/m ³	≥ 1300 kg/m ³
Druckfestigkeit	siehe Tabelle 15.4.d	
Verbundfestigkeit ¹⁾	≥ 0,20 N/mm ² ²⁾	≥ 0,20 / ≥ 0,50 ³⁾ [N/mm ²]
Verarbeitbarkeitszeit	≥ 4 Stunden	
Korrigierbarkeitszeit	≥ 7 Minuten	
Chloridgehalt	≤ 0,1 M.-% bezogen auf die Trockenmasse des Mörtels	
Brandverhalten	Baustoffklasse A 1	

¹⁾ 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 Dünnbettmörtel gilt danach der Wert 0,3 N/mm².

²⁾ Prüfung der Haftscherfestigkeit nach DIN EN 1052-3. Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.

³⁾ Erster Wert: gilt bei Prüfung der Haftscherfestigkeit nach DIN EN 1052-3; zweiter Wert: gilt bei Prüfung der Haftscherfestigkeit nach DIN 18555-5. Prüfwerte sind zur Ermittlung der Verbundfestigkeit mit 1,2 zu multiplizieren.

Tabelle 15.4.d: Mindestanforderungen an die Druckfestigkeit in Abhängigkeit von den Mörtelgruppen

Mörtelart	Mörtelgruppe nach DIN 1053	Mörtelklasse ¹⁾ nach	
		DIN V 20000-412	DIN V 18580
Normalmauermörtel	MG I	M 2,5	M 1
	MG II	M 5	M 2,5 ²⁾
	MG IIa	M 10	M 5 ²⁾
	MG III	M 15	M 10 ²⁾
	MG IIIa	M 30	M 20 ²⁾
Leichtmauermörtel	LM 21	M 10	M 5 ²⁾
	LM 36	M 10	M 5 ²⁾
Dünnbettmörtel	DM	M 15	M 10 ³⁾

¹⁾ Die Bezeichnung der Mörtelklassen nach DIN EN 998-2 entspricht der Mindestanforderung an die Druckfestigkeit, z. B. M 5 hat eine Mindestdruckfestigkeit von 5 N/mm².

²⁾ Zusätzlich werden Anforderungen an die Fugendruckfestigkeit (Lagerfuge) gestellt.

³⁾ 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.

15.5 Verwendung von Mauermörtel ohne Eignungsprüfung (Rezeptmörtel)

Für die Verwendung von Rezeptmauermörtel treffen DIN V 20000-412 und in DIN V 18580 unterschiedliche Festlegungen:

- DIN V 20000-412: Rezeptmauermörtel nach DIN EN 998-2 darf für Mauerwerk nach DIN 1053-1, -3 und -4 nicht verwendet werden.
- 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 15.5.a: Baustellenmörtel – Zusammensetzung für Normalmauermörtel als Rezeptmörtel (Angaben in Raumteilen)

Mörtelgruppe MG ²⁾	Luftkalk		Hydraulischer Kalk (HL2)	Hydraulischer Kalk (HL5), Putz- und Mauerbinder (MCS)	Zement	Sand ¹⁾ aus natürlichem Gestein
	Kalkteig	Kalkhydrat				
I	1	–	–	–	–	4
	–	1	–	–	–	3
	–	–	1	–	–	3
	–	–	–	1	–	4,5
II	1,5	–	–	–	1	8
	–	2	–	–	1	8
	–	–	2	–	1	8
	–	–	–	1	–	3
IIa	–	1	–	–	1	6
	–	–	–	2	1	8
III	–	–	–	–	1	4

¹⁾ Die Werte beziehen sich auf den lagerfeuchten Zustand

²⁾ Nach DIN 1053

16 Brandschutz nach DIN 4102

Die Leistungsfähigkeit von Baustoffen im Brandfall wird durch das Klassifizierungssystem der DIN 4102-1 bis -21 definiert. Die wesentlichen Regelungen für den Betonbau sind in den Teilen 1 bis 4 der Norm festgelegt.

Tabelle 16.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

F = Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen

W = Feuerwiderstandsklassen von nichttragenden Außenwänden

16.1 Baustoffklassen

Die Baustoffe werden entsprechend ihrem Brandverhalten in nicht-brennbare (Klasse A) und brennbare Baustoffe (Klasse B) eingeteilt (siehe Tabelle 16.1.a).

Tabelle 16.1.a: Baustoffklassen und nach DIN 4102-4 zugeordnete Baustoffe (Beispiele)

Baustoffklasse	Bauaufsichtliche Benennung	Baustoffe (Beispiele)
A nichtbrennbare Baustoffe		
A 1	-	Naturstein, Gesteinskörnungen, Zement, Kalk, Gips, Blähton, Bläherlite, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Porenbeton, Mörtel, Glas
A 2		Gipskartonplatten nach DIN 18180 mit geschlossener Oberfläche
B brennbare Baustoffe		
B 1	schwerentflammbare Baustoffe	Holzwohle-Leichtbauplatten, Gipskartonplatten nach DIN 18180 mit gelochter Oberfläche, Wärmedämmverbundsysteme mit EPS-Hartschaum
B 2	normalentflammbare Baustoffe	Holz, Gipskarton-Verbundplatten
B 3	leichtentflammbare Baustoffe	Papier

16.2 Feuerwiderstandsklassen F von Bauteilen

Die Feuerwiderstandsdauer ist die Mindestdauer in Minuten, während der ein Bauteil beim Normbrandversuch nach DIN 4102 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 16.2.a: Feuerwiderstandsklassen F von Bauteilen nach DIN 4102-2

Feuerwiderstandsklasse	Feuerwiderstandsdauer [min]
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 16.2.b: Benennung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen

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:

- 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.

Fußnoten auf der nächsten Seite ►

17 Auswahl von Normen und Richtlinien

(Ohne Gewähr: es gilt jeweils die jüngste Ausgabe)

17.1 Zement, Bindemittel

DIN EN 197	Zement
	Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Ausgabe: 2004-08 (inkl. A1-Änderung) + Berichtigung 1; Ausgabe: 2004-11 + A2-Änderung; Norm-Entwurf; Ausgabe: 2006-10 + A3-Änderung; Ausgabe: 2007-09
	Teil 2: Konformitätsbewertung; Ausgabe: 2000-11
	Teil 4: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Hochofenzement mit niedriger Anfangsfestigkeit; Ausgabe: 2004-08
DIN 1164	Zement mit besonderen Eigenschaften
	Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Normalzement mit besonderen Eigenschaften; Ausgabe: 2004-08
	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: 2004-08
DIN EN 14647	Tonerdezement - Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2006-01 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2007-04

DIN EN 196

Prüfverfahren für Zement

Teil 1:	Bestimmung der Festigkeit; Ausgabe: 2005-05
Teil 2:	Chemische Analyse von Zement; Ausgabe: 2005-05
Teil 3:	Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit; Ausgabe: 2005-05
Teil 5:	Prüfung der Puzzolanität von Puzzolanzementen; Ausgabe: 2005-05
Teil 6:	Bestimmung der Mahlfineinheit; Ausgabe: 1990-03
Teil 7:	Verfahren für die Probenahme und Probenauswahl von Zement; Ausgabe: 2008-02
Teil 8:	Hydratationswärme; Lösungsverfahren; Ausgabe: 2004-01
Teil 9:	Hydratationswärme; Teiladiabatisches Verfahren; Ausgabe: 2004-01
Teil 10:	Bestimmung des Gehaltes an wasserlöslichem Chrom (VI) in Zement; Ausgabe: 2006-10

DIN EN 413

Putz- und Mauerbinder

Teil 1:	Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2004-05
Teil 2:	Prüfverfahren; Ausgabe: 2005-08

DIN EN 459

Baukalk

Teil 1:	Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2002-02
---------	-------------------------------------------------------------------------

17.2 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: 2002-08 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2004-12
---------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

DIN 4226	Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen; Ausgabe: 2002-02	Teil 3: Zusatzmittel für Mauermörtel; Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; Ausgabe: 2004-03 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2006-01
DIN EN 13139	Gesteinskörnungen für Mörtel; Ausgabe: 2002-08 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2004-12	Teil 4: Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder; Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; Ausgabe: 2002-02 + A1-Änderung; Ausgabe: 2005-06
DIN 1100	Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche – Anforderungen und Prüfverfahren; Ausgabe: 2004-05	Teil 5: Zusatzmittel für Spritzbeton; Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2008-02
DIN EN 1367	Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel; Ausgabe: 2000-01 + Ausgabe: 2007-06 Teil 2: Magnesiumsulfat-Verfahren; Ausgabe: 1998-05 Teil 6: Beständigkeit gegen Frost-Tau Wechsel in der Gegenwart von Salz, Norm-Entwurf; Ausgabe: 2006-08	Teil 6: Probenahme, Konformitätskontrolle und Bewertung der Konformität; Ausgabe: 2006-03
DIN EN 1744	Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen Teil 1: Chemische Analyse; Ausgabe 1998-05	DIN V 20000 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken Teil 101: Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder nach DIN EN 934-4:2002-02, Vornorm; Ausgabe: 2002-11
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 EN 480 Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel - Prüfverfahren DIN V 18998 Beurteilung des Korrosionsverhaltens von Zusatzmitteln nach Normenreihe DIN EN 934, Vornorm; Ausgabe: 2002-11 + Änderung A1; Ausgabe: 2003-05

17.3 Zusatzmittel

DIN EN 934	Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel Teil 1: Gemeinsame Anforderungen; Ausgabe: 2008-04 Teil 2: Betonzusatzmittel; Definitionen und Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; Ausgabe: 2002-02 + A1-Änderung; Ausgabe: 2005-06 + A2-Änderung; Ausgabe: 2006-03
------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

17.4 Zusatzstoffe

DIN EN 450	Flugasche für Beton Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2008-05 Teil 2: Konformitätsbewertung; Ausgabe: 2005-05
DIN EN 13263	Silikastraub für Beton Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien; Ausgabe: 2005-10 Teil 2: Konformitätsbewertung; Ausgabe: 2005-10

DIN 51043	Traub; Anforderungen, Prüfung; Ausgabe: 1979-08	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: 2005
DIN EN 12878	Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfung; Ausgabe: 2006-05		
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	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
17.5 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	DIN EN 12350	Prüfung von Frischbeton Teil 1: Probenahme; Ausgabe: 2000-03 Teil 2: Setzmaß; Ausgabe: 2000-03 Teil 3: Vébé-Prüfung; Ausgabe: 2000-03 Teil 4: Verdichtungsmaß; Ausgabe: 2000-06 Teil 5: Ausbreitmaß; Ausgabe: 2000-06 Teil 6: Frischbetonrohddichte; Ausgabe: 2000-03 Teil 7: Luftgehalte; Druckverfahren; Ausgabe: 2000-11 Teil 8: Selbstverdichtender Beton - Setzfließversuch, Norm-Entwurf; Ausgabe: 2008-01 Teil 9: Selbstverdichtender Beton - Auslaufrichter-versuch, Norm-Entwurf; Ausgabe: 2008-1 Teil 10: Selbstverdichtender Beton - L-Kasten-Prüfung, Norm-Entwurf; Ausgabe: 2008-01 Teil 11: Selbstverdichtender Beton – Bestimmung der Sedimentationsstabilität im Siebversuch, Norm-Entwurf; Ausgabe 2008-01 Teil 12: Selbstverdichtender Beton – Blockiering-Versuch, Norm-Entwurf; Ausgabe: 2008-01
17.6 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), Norm-Entwurf; Ausgabe: 2008-01		
DIN 1045	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Ausgabe: 2008-08 Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; Ausgabe: 2008-08 Teil 3: Bauausführung; Ausgabe: 2008-08 Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen; Ausgabe: 2001-07		

DIN EN 12390	Prüfung von Festbeton
Teil 1:	Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen; Ausgabe: 2001-02 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2006-05
Teil 2:	Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen; Ausgabe: 2001-06
Teil 3:	Druckfestigkeit von Probekörpern; Ausgabe: 2002-04
Teil 4:	Bestimmung der Druckfestigkeit; Anforderungen an Prüfmaschinen; Ausgabe: 2000-12
Teil 5:	Biegezugfestigkeit von Probekörpern; Ausgabe: 2001-02 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2006-05
Teil 6:	Spaltzugfestigkeit von Probekörpern; Ausgabe: 2001-02 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2006-05
Teil 7:	Dichte von Festbeton; Ausgabe: 2001-02 + Berichtigung 1; Ausgabe: 2006-05
Teil 8:	Wassereindringtiefe unter Druck; Ausgabe: 2001-02
Teil 9:	Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand - Abwitterung, DIN CEN/TS 12390-9 Vornorm; Ausgabe: 2006-08
Teil 10:	Relativer Karbonatisierungswiderstand, DIN CEN/TS 12390-10 Vornorm; Ausgabe: 2007-12
DIN EN 12504	Prüfung von Beton in Bauwerken
Teil 1:	Bohrkernproben; Herstellung, Untersuchung und Prüfung unter Druck; Ausgabe: 2000-09
Teil 2:	Zerstörungsfreie Prüfung; Bestimmung der Rückprallzahl; Ausgabe: 2001-12
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
ASTM C173	Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method; Ausgabe: 2003
DIN 18331	VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Beton- und Stahlbetonarbeiten; Ausgabe: 2006-10

17.7 Estrich

DIN 18560	Estriche im Bauwesen
Teil 1:	Allgemeine Anforderungen, Prüfung und Ausführung; Ausgabe: 2004-04
Teil 2:	Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten (schwimmende Estriche); Ausgabe: 2004-04
Teil 3:	Verbundestriche; Ausgabe: 2006-03
Teil 4:	Estriche auf Trennschicht; Ausgabe: 2004-04
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: 2004-07

17.8 Mauermörtel

- DIN EN 998 Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau
Teil 2: Mauermörtel; Ausgabe: 2003-09
- 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 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln
Teil 4: Festmörtel; Bestimmung der Längs- und Querdehnung sowie von Verformungskenngrößen von Mauermörteln im statischen Druckversuch; Ausgabe: 1986-03
Teil 5: Festmörtel; Bestimmung der Haftscherfestigkeit von Mauermörteln; Ausgabe: 1986-03 (zurückgezogen)
- 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
Teil 2: Mauerwerksfestigkeitsklassen aufgrund von Eignungsprüfungen; Ausgabe: 1996-11
Teil 3: Bewehrtes Mauerwerk, Berechnung und Ausführung; Ausgabe: 1990-02
Teil 4: Fertigbauteile; Ausgabe: 2004-02
- DIN EN 1052 Prüfverfahren für Mauerwerk
Teil 3: Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit); Ausgabe: 2007-06

17.9 Weitere Normen

- DIN EN 1536 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bohrpfähle; Ausgabe: 1999-06
- DIN-Fachbericht 129 Anwendungsdokument zu DIN EN 1536: 1999-06, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bohrpfähle; Ausgabe: 2005-02
- DIN 18551 Spritzbeton; Anforderungen, Herstellung, Bemessung und Konformität; Ausgabe: 2005-01 und Entwurf, Ausgabe: 2007-11
- 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 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 18217 Betonflächen und Schalungshaut; Ausgabe: 1981-12

DIN V 18500	Betonwerkstein; Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Überwachung; Ausgabe: 2006-12
DIN 1076	Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung; Ausgabe: 1999-11
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: 1994-03 + Änderung A1; Ausgabe: 2004-11
DIN-Taschenbuch 120	Brandschutzmaßnahmen; Ausgabe: 2005-01
DIN 4301	Eisenhüttenschlacke und Metallhüttenschlacke im Bauwesen; Ausgabe: 1981-04
DIN 11622	Gärfuttersilos und Güllebehälter Teil 1: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Allgemeine Anforderungen; Ausgabe: 2006-01 Teil 2: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Gärfuttersilos und Güllebehälter aus Stahlbeton, Stahlbetonfertigteilen, Betonformsteinen und Betonschalungssteinen; Ausgabe: 2004-06

17.10 Regelwerke im Verkehrswegebau

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING); Ausgabe: 2003-03; Teil 3 Massivbau, Abschnitt 1+2; Ausgabe: 2006-07

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB 07); Ausgabe: 2008

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen-Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215); Ausgabe: 2004

Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton; Ausgabe: 2004

Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau (RG Min-StB); Ausgabe: 1993/1996

Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB 04); Ausgabe: 2004

Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TL Beton-StB 07); Ausgabe: 2008

Technische Prüfvorschriften für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TP Beton-StB 08); Ausgabe: in Vorbereitung

Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau (TP Min-StB); Ausgabe: 1999

Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau – Lieferung (TP Min-StB); Ausgabe: 2001

Technische Lieferbedingungen für Betonschutzwand-Fertigteile (TL BSWF 96); Ausgabe: 1996

Technische Lieferbedingungen für flüssige Beton-Nachbehandlungsmittel (TL NBM-StB 96)

Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 12/2006: Vermeidung von Schäden an Fahrbahndecken aus Beton infolge von Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)

Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 12/2008: ZTV Beton-StB 07

Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 13/2008: TL Beton-StB 07

Merkblatt Frostprüfung von Beton; Bundesanstalt für Wasserbau,
Ausgabe: 2004-12

Merkblatt Chlorideindringwiderstand von Beton; Bundesanstalt für
Wasserbau, Ausgabe: 2004-05

17.11 Richtlinien des DAfStb

Richtlinie zur Wärmebehandlung von Beton; Ausgabe: 1989-09

Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton
(Alkali-Richtlinie); Ausgabe: 2007-02

Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteins-
körnungen nach DIN 4226-100; Ausgabe: 2004-12

Massige Bauteile aus Beton; Ausgabe: 2005-03

Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie); Ausgabe: 2003-11

Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel
(Trockenbeton-Richtlinie); Ausgabe: 2005-06

Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen;
Ausgabe: 2004-10

Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (Verzögerter
Beton) – Erstprüfung, Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung;
Ausgabe: 2006-11

Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie);
Ausgabe: 2003-11

Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-
Richtlinie); Ausgabe: 2001-10

Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton
und Vergussmörtel; Ausgabe: 2006-06 und Berichtigung 2007-06

17.12 Merkblätter

DBV/BDZ-Merkblatt Sichtbeton; Ausgabe: 2004-08

Merkblatt über Sichtbetonflächen von Fertigteilen aus Beton und
Stahlbeton; Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau;
Ausgabe: 2005-06

DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton; Ausgabe: 2001-10

DBV-Merkblatt Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen;
Ausgabe: 2004-11

DBV-Merkblatt Parkhäuser und Tiefgaragen; Ausgabe: 2005-01

DBV-Merkblatt Hochfester Beton; Ausgabe: 2002-03

DBV-Merkblatt Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton;
Ausgabe: 2007-06

DBV-Merkblatt Bauen im Bestand – Leitfaden; Ausgabe: 2008-01

DBV-Merkblatt Bauen im Bestand – Beton und Betonstahl;
Ausgabe: 2008-01

DBV-Merkblatt Bauen im Bestand – Brandschutz; Ausgabe: 2008-01

18 Zeichen, Einheiten und Dezimalfaktoren

Tabelle 18.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 12390-2:2001-06, Anhang NA
f_m	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 18.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 18.c: Teilmengen

Einheit	Teilmengen	Beispiele für Teilmengen bezogen auf		
		Volumen	Masse	
1 Prozent (1 %)	$1/100 = 10^{-2}$	10 l/m ³	10 g/kg	10 kg/t
1 Promille (1 ‰)	$1/1000 = 10^{-3}$	1 l/m ³	1 g/kg	1 kg/t
1 ppm	10^{-6}	1 ml/m ³	1 mg/kg	1 g/t
1 ppb	10^{-9}	0,001 ml/m ³ (1 μ l/m ³)	0,001 mg/kg (1 μ g/kg)	1 mg/t

Tabelle 18.d: Zeichen und Einheiten

Größe	Zeichen	Einheit seit 1.1.1978	Umrechnung alter Einheiten in aktuelle Einheiten
Länge	l	m	-
Fläche	A	mm ²	1 cm ² = 100 mm ²
Volumen	V	dm ³	1 l = 1 dm ³
Masse	m	kg	-
Dichte	ρ	kg/dm ³	-
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/m ² = 10 N/cm ²
Festigkeit	f	N/mm ² = MPa	1 kp/cm ² ~ 0,1 N/mm ² ~ 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/m ²	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 kW·s ~ 4,2 KNm

19 Statistische Auswertung von Prüfwerten

19.1 Arithmetischer Mittelwert

Bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse von Betonprüfungen werden in der Regel 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
 x – einzelne Prüfergebnisse
 n – Anzahl der Prüfergebnisse

Die Auswertung, z. B. für Betondruckfestigkeitsergebnisse, kann zeichnerisch wie folgt durchgeführt werden (Abbildung 19.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.

19.2 Median

Der Median \bar{x} ist ein Mittelwert, der durch Extremwerte weniger beeinflusst wird als das arithmetische Mittel. Er wird deshalb insbesondere bei Verdacht auf Ausreißer verwendet.

Median \bar{x} :

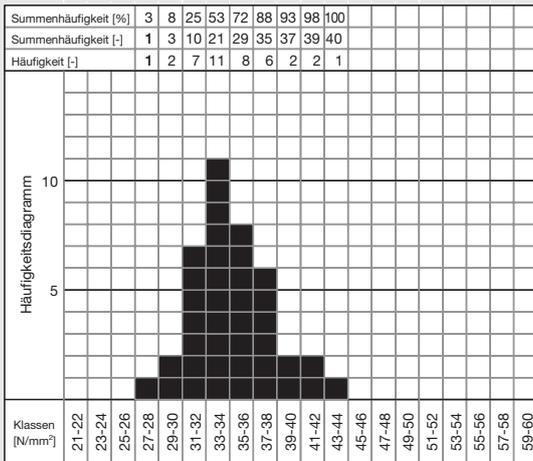
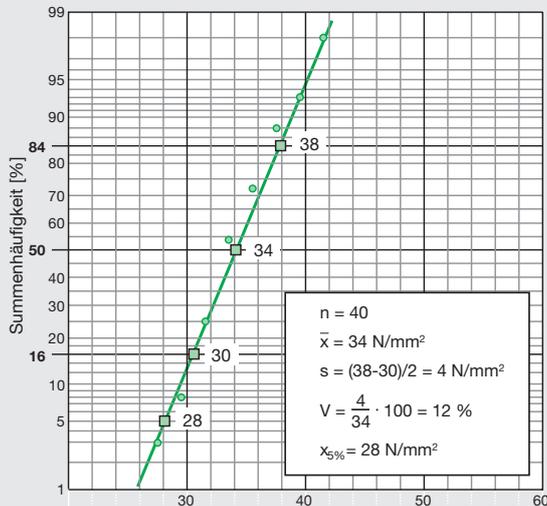
- Bei ungerader Anzahl der Einzelwerte der *mittlere* der nach der Größe geordneten n Einzelwerte
- Bei gerader Anzahl der Einzelwerte das *arithmetische Mittel* der beiden in der *Mitte* stehenden Einzelwerte.

Der Median wird z. B. bei der Auswertung der Rückprallhammerprüfung nach DIN EN 12504-2 verwendet (Tabelle 19.2.a):

Tabelle 19.2.a: Auswertung der Ergebnisse einer Rückprallhammerprüfung

Messpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Messwert	40	38	39	43	44	38	42	44	40
Nach Größe geordnete Messwerte	38	38	39	40	40	42	43	44	44
Median					40				

Abbildung 19.a: Beispiel einer Festigkeitsauswertung - Wahrscheinlichkeitsnetz



20 Stichwortverzeichnis (Verweise auf Kapitelnummern)

- Alkaliempfindlichkeitsklassen 2.5, 4.1.5
- Alkaligehalt 1.3.2
- Alkali-Kieselsäure-Reaktion. 2.5, 4.1.5
- Anfangsfestigkeit. 1.2.1, 1.2.2
- Annahmeprüfung. 6.4.1, 10.7
- Ausbreitmaßklassen 6.2.2, 11.1
- Außenbauteil 9.1.2
- Baustellenbeton 6.1
- Baustellenmauermörtel 15
- Beanspruchungsklasse 12.4.2
- Beschleuniger 3.7, 3.8, 3.9, 12.7.1, 12.7.2
- Beton. 6, 9
- Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis 250 °C. 6.3.8
- Beton für Umgang mit wassergefährdenden Stoffen 12.10
- Beton mit besonderen Eigenschaften 6.3.8
- Beton mit hohem Wassereindringwiderstand 12.4
- Beton nach Eigenschaften 6.1, 6.4.1, 6.4.2
- Beton nach Zusammensetzung 6.1, 6.4.1, 6.4.3
- Betonentwurf. 9.1
- Betontechnologie 9
- Betontemperatur 6.3.7, 9.4, 9.5
- Betonverflüssiger 3.1
- Betonzusatzmittel 3
- Betonzusatzmittel, Verwendung 3.19
- Betonzusatzmittel, Zugabemenge 3.19
- Betonzusatzstoffe 4
- Bindemittel 1
- Blaine-Wert 1.5.7
- Blockierring 12.9.2
- Bluten 3.4, 3.11, 3.12
- Bohrpfahl 4.1.3, 13.1.3
- Bohrpfahlbeton 12.5
- Brücken 13.1.3
- Calciumaluminatzement 1.8

Calciumsulfat	1.1
Charakteristische Festigkeit	6.1, 6.2.3
Chemischer Angriff	6.2.1.6, 6.3.2, 13.1.3
Chloridangriff	6.2.1.3, 6.2.1.4, 6.3.2
Chloridgehalt	2.4.1, 6.3.6
Chromat	1.7
Chromatreduzierer	3.13
Dichte, Gesteinskörnung	2.1, 2.3, 2.4, 2.6
Dichtstromverfahren	12.7.1, 12.7.2
Dichtungsmittel	3.5
Dränbeton	4.4, 12.11
Druckfestigkeit, Abschätzung	9.2, 9.7
Druckfestigkeit, Beton	5.1, 6.2.3, 6.3.2, 9.2, 9.7
Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken	11.3
Druckfestigkeit, Zement	1.5.1
Druckfestigkeit/Zugfestigkeit von Beton	11.2.11
Druckfestigkeitsklassen	6.2.3, 6.3.2
D-Summe	2.7.2
Dünnstromverfahren	12.7.1
Eignungsprüfung	13.1.4, 13.3.6, 15.4
Einpresshilfe	3.10
E-Modul	9.6.4
Erhärten	3.7, 3.8
Erhärtungsbeschleuniger	3.7
Erstarren	1.3.3, 1.5.2, 3.3, 3.6, 3.8, 3.9
Erstarrungsbeschleuniger	3.8, 3.9, 3.19, 12.7.2
Erstarrungsregelung	1.1
Erstprüfung	6.4.1, 8.1, 9.3
Estrich	3.11, 14
Expansionshilfe	3.16
Expositionsklasse	2.4.2, 4.1.1, 6.1, 6.2.1, 6.3.2, 13.1.3, 13.1.5, 13.2.1, 13.3.1, 13.3.4, 13.3.5
Fahrbahndeckenbeton	13.2
Fasern	4.5
FD-Beton	12.10
FDE-Beton	12.10
Feinanteil	2.1, 2.2
Feinstsandgehalt	12.2.2, 12.6.2

Festbeton	13.1.4, 13.2.4, 13.3.5
Festbeton, Prüfung	11.2
Festbeton, Temperatur	9.5
Festlegung von Beton	6.1, 6.4, 9.1
Feuchtigkeitsklassen	2.5, 4.1.5, 13.1.2
Filterbeton	4.4, 12.11.2
Fließbeton	6.1, 6.3.2, 6.3.5, 6.3.7, 9.1.2, 12.3.2
Fließmittel	3.2, 3.3, 3.19, 6.3.8, 12.2.2, 12.5.2, 12.6.3, 12.7.2, 12.8.1, 12.9.3, 13.1.2, 13.3.3
Fließmittelzugabe	6.3.7, 8.2, 13.1.2, 13.1.4, 13.3.3
Flugasche	1.1, 1.2.1, 1.4, 4, 4.1, 6.3.1, 12.2.2, 12.3.2, 12.5.3, 12.7.2
Flüssigkeitsdichter Beton	12.10
Formänderung	9.6
Frischbeton	3.19, 13.1.4, 13.3.5
Frischbeton, Prüfung	11.1
Frischbeton, Temperatur	6.3.7, 8.1, 9.4, 10.2, 12.3, 13.1.4, 13.3.5
Frostangriff	2.2.1, 2.3, 2.4.2, 3.4, 3.7, 3.8, 3.15, 6.2.1.5, 6.3.2, 6.3.5
Frost-Tausalzangriff	2.2.1, 6.3.2, 6.3.5
Frost-Tausalzwidehrstand	2.2.1, 3.4, 3.15
Frostwiderstand	2.2.1, 2.3, 2.4.2, 3.4, 3.15
Füller	4
Gefahrensätze, Zement	1.7
Gesteinskörnungen	2
Gesteinskörnungen, leichte	2.3, 2.6
Gesteinskörnungen, normale	2.2, 2.6
Gesteinskörnungen, rezyklierte	2.4
Gesteinskörnungen, schwere	2.6
Gesteinsmehle	4, 4.2
Gesundheitliche Relevanz, Zement	1.7
Glühverlust	4.1, 4.2
Grenzwerte der Betonzusammensetzung	6.3.2, 9.1.2, 12.3.2, 13.1.3, 13.3.4
Größtkorn, Gesteinskörnung	6.2.4
Haufwerksporiger Beton	4.4, 6, 12.11
Hauptbestandteile, Zement	1.1, 1.2.1, 1.4
Hersteller	6.1, 6.4.1, 6.4.2, 6.4.3, 8.1
Hochfester Beton	3.19, 5.2, 6.2.3, 12.2
Hochhofenschlacke	1.1

Hochofenzement	1.2.1, 1.2.2, 1.3.1, 1.3.2, 1.4, 1.5.2, 1.5.4
Hohlkugeln, elastische	3.15
HS-Zement	1.3.1, 6.3.3, 13.1.3
Hüttensand	1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.4
Hüttensandgehalt	1.3.2
Hydratation	3.6, 4.4
Hydratationswärme	1.2.1, 1.4, 1.5.4, 9.5, 12.3
Kalkstein	1.1, 1.2.1
Kalksteinmehl	1.1, 4.2
Karbonatisierung	6.2.1.2, 6.3.2
Klinkerphasen	1.1
Kompositzement	1.2.1, 1.4
Konformitätskriterien	7.2.2
Konformitätsprüfung	6.4.1, 7.2.1
Konformitätsnachweis	7
Konsistenzklassen	6.2.2
Korrosionswiderstand	4.4
Kriechen	9.6.2
Kunststoffdispersion	4.4
Kunststofffasern	4.5
k-Wert, Gesteinskörnung	2.7.2
k-Wert-Ansatz	4.1.1
Lagerung, Probekörper	6.2.3, 11.2.1
Lagerung, Zement	1.6
Latent-hydraulisch	1.1, 4
Leichtbeton	3.11, 6.1, 6.2.3, 6.2.5, 9.7, 12.2
Leichtbeton, Druckfestigkeit	6.2.3, 9.7
Leichtgewichtige organische Verunreinigungen	2.2
Leichtmauermörtel	15
Leichtverarbeitbarer Beton (LVB).	12.8
Leimgehalt	12.8.1, 12.9.3
LH-Zement	1.2.1, 12.3.2
Lieferung	6.1, 6.3.7
LP-Beton	6.4, 12.10.2, 13.1.2, 13.1.3, 13.1.4, 13.3.5, 13.3.6
Luftgehalt	6.3.2, 6.3.5, 11.1.4, 12.3.2, 13.1.4, 13.2.4, 13.3.5
Luftporenbilder	3.2, 3.4, 6.3.5, 12.5.2, 13.1.3
Luftporenkennwerte	13.1.4, 13.2.4
Mahlfeinheit	1.5.5, 1.5.7

Massige Bauteile	12.3, 13.3.5
Mauermörtel	15
Mehlkorngehalt	6.1, 6.3.4, 12.1, 12.2.2, 12.8.1, 12.9.1, 12.9.2
Mindestbauteildicken	12.4.4, 12.4.5
Mindestdruckfestigkeitsklasse	6.3.2, 12.3.2, 12.4.4, 13.1.3, 13.3.4
Mindestluftgehalt	6.3.2, 6.3.5, 12.3.2, 13.1.3, 13.1.4, 13.2.4, 13.3.5
Mindestzementgehalt	4.1.1, 6.3.2, 6.4.4, 12.3.2, 12.4.4, 12.5.3, 13.1.3, 13.3.4
Mörtel	15
Muschelschalengehalt	2.2
Na ₂ O-Äquivalent	1.3.2, 2.5, 3.19, 4.1.4, 12.7.2, 13.2.2
Nachbehandlung	10.6, 12.3.4, 13.1.5, 13.2.5, 13.3.7, 14.5
Nachbehandlung, Dauer	10.6.3, 12.10.3, 13.1.5, 13.2.5, 13.3.7, 14.5
Nachbehandlung, Mittel	13.1.5
Nassspritzbeton	12.7.2
Nassspritzverfahren	12.7.1
NA-Zement	1.3.2, 2.5
Nebenbestandteile, Zement	1.1, 1.2.1, 1.4
Normalbeton	6.1
Normalmauermörtel	15
Normalzement	1.2
Nutzungsklasse	12.4.3
Ölschiefer	1.1
Ortbeton	6.1
Parkdeck	9.1.2
Passivator	3.18
Pigmente	4.3
Polierwiderstand	2.2
Polymerfasern	4.5
Porenleichtbeton	3.14, 12.12
Portlandkompositzement	1.2.1
Portlandzementklinker	1.1, 1.2.1
Produktionskontrolle	8
Prüfen von Beton	11
Prüfhäufigkeit	7.2.3, 10.7.2, 10.7.3, 10.7.4
Prüfung, Ausziehkraft	11.3
Prüfung, Ausbreitmaß	11.1.2
Prüfung, Beton in Bauwerken	11.2.7, 11.3

Prüfung, Biegezugfestigkeit	11.2.3
Prüfung, Dichte von Festbeton	11.2.5
Prüfung, Druckfestigkeit	11.2.2, 11.2.7
Prüfung, Festbeton	11.2
Prüfung, Frischbeton	11.1
Prüfung, Frischbetonrohddichte	11.1.3
Prüfung, Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand	11.2.8
Prüfung, Karbonatisierungswiderstand	11.2.9
Prüfung, Konsistenz	11.1.2
Prüfung, Luftgehalt	11.1.4
Prüfung, Rückprallzahl – Rückprallhammer	11.3
Prüfung, Setzmaß	11.1.2
Prüfung, Setzzeit	11.1.2
Prüfung, Spaltzugfestigkeit	11.2.4
Prüfung, Ultraschallgeschwindigkeit	11.3
Prüfung, Vébé-Zeit	11.1.2
Prüfung, Verdichtungsmaß	11.1.2
Prüfung, Wassereindringwiderstand	11.2.6
Prüfung, zerstörungsfrei	11.3
Puzzolan	1.1, 1.2.1, 1.4, 4, 4.1, 4.2
Puzzolanazement	1.2.1
Quellen	9.6.1
Raubeständigkeit	1.5.3
Referenzbeton	7.2.4.1
Restbeton	5.2
Restmörtel	5.2
Restwasser	5, 5.2, 6.3.2, 12.1.1, 13.2.2
Rezeptmörtel	15
Rohddichte von Beton	6.1
Rohdichteklassen	6.2.5
Rückprall	4.1, 12.7
Rückprallzahl, Rückprallhammer	11.3
Rundungsgenauigkeit von Prüfergebnissen	11.2.10
Sammelprobe	11.1.1
Schaumbeton	12.12
Schaumbildner	3.14
Schiefer, gebrannter	1.1, 1.2.1
Schrumpfen	9.6.1

Schüttdichte, Zement	1.5.6
Schwerbeton	6.1
Schwinden	9.6.1
Sedimentationsstabilität	3.12, 12.9.2
Selbstverdichtender Beton (SVB)	3.11, 3.12, 12.9
Setzfließmaß	12.9.2
Setzmaß-Klassen	6.2.2, 11.1.2
Setzzeit-Klassen	6.2.2, 11.1.2
Sicherheitsratschläge, Zement	1.7
Sichtbeton	3.11, 3.12, 12.1, 12.9.4, 13.1.4
Sieblinien	2.7.1
Silika-Suspension	4.1, 12.2.2
Silikastaub	1.1, 1.2.1, 1.4, 4, 4.1, 12.2.2
Sonderzemente	1.4, 1.5.1, 1.5.2
Spaltzugfestigkeit	11.2.4
Spannbeton	3.10, 3.19
Spritzbeton	3.9, 3.19, 4.1, 12.7
Spritzbeton, Beschleuniger	12.7.2
Spritzbeton, Nassspritzverfahren	12.7.1
Spritzbeton, Rückprall	4.1, 12.7
Spritzbeton, Trockenspritzverfahren	12.7
Spritzbeton, Zement	12.7.2
Stabilisierer	3.11
Stahlfaserbeton	12.6
Stahlfasern	4.5, 12.6
Standardbeton	6.1, 6.4.1, 6.4.4, 7.3
Statistik	19
Steinkohlenflugasche	4.1
Stetige Herstellung	7.1, 7.2.1, 7.2.2, 7.2.5.2, 7.2.5.4
Stichprobe	11.1.1
Stoffraumrechnung	3.19, 4, 9.3, 12.6.2
Sulfatwiderstand	1.3.1, 4.1.3, 6.3.3, 13.1.3
Temperatur, Frischbeton	9.4
Temperatur, Festbeton	9.5
Temperatur, Risse	9.5
Temperaturdehnung	9.6.3
Temperaturentwicklung	9.5, 12.3.3, 12.3.4, 13.3.5
TL-Beton-StB	13.2

TP-Beton-StB	13.2
Tonerdezement	1.8
Transformationsmethode	7.2.4.1, 7.2.5.3, 7.2.5.4
Transportbeton	6.1
Trass	1.1, 4, 4.2
Trockenspritzverfahren	12.7
Tunnel	13.1.3
Überwachung durch Bauunternehmen	10.7
Überwachungsklassen	10.7
Umgebungsbedingungen	6.2.1
Umrechnung von Würfel-Druckfestigkeiten	11.2.2
Unterwasserbeton	3.11, 4.1.2, 6.3.8
Vébé-Zeit	6.2.2, 11.1.2
Verarbeitbarkeit	3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.6, 4.2, 12.1.1, 12.6.2
Verdichtungsmaßklassen	6.2.2, 11.1.2
Verfasser der Festlegung	6.4.1, 8.1
Verformung, elastische	9.6.4
Verschleiß	6.2.1.7, 6.3.2
Verschleißwiderstand	2.2
Verwender von Beton	6.4.1
Verzögerer	3.3, 3.6, 3.19, 12.3, 12.5.2
Walz-Kurven	9.2
Wärmeentwicklung	9.5, 12.3.3
Wasser	5
Wasseranspruch	2.7.3, 3.1, 3.2, 3.3, 12.2.2, 13.2.2
Wasserbauwerk	13.3
Wassereindringwiderstand	6.3.8, 12.4
Wassergefährdende Stoffe, Betonbau	12.10
Wassergehalt, wirksamer	6.1
Wasserundurchlässige Bauwerke	12.4
Wasserzementwert	3.1, 3.2, 3.19, 6.1, 6.3.2, 9.2
Wasserzementwert, äquivalenter	4.1.1, 4.1.2, 6.1
Wasserzugabe	6.3.7, 13.1.4, 13.3.5
Werkmauermörtel	15
Zement	1
Zement mit besonderen Eigenschaften	1.3
Zement mit organischen Bestandteilen	1.3.4
Zement, Anwendungsbereiche	6.3.3

Zement, Dichte	1.5.6
Zement, Erhärten	1.5.2, 1.8
Zement, Erstarren	1.3.3, 1.5.2, 1.8
Zement, Farbe	1.5.5
Zement, Festigkeitsklasse	1.4, 1.5.1
Zement, Hauptbestandteile	1.1, 1.2.1, 1.4
Zement, Nebenbestandteile	1.1, 1.2.1, 1.4
Zement, Normbezeichnung	1.2.1, 1.2.2, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 1.3.4, 1.4
Zement, Rohstoff	1.1
Zement, Schüttdichte	1.5.6
Zementklinker	1.1
Zementmörtel für Fugen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	6.3.8
ZTV Beton-StB	13.2
ZTV-ING, Massivbau	12.7.2, 13.1
ZTV-W	13.3
Zugabewasser	5, 12.7.1, 13.1.1, 13.2.2, 13.3.2
Zugfestigkeit	11.2.11, 12.6
Zusatzmittel	3
Zusatzstoff	4

Hinweise zur Verwendung von Betonzusatzmitteln

Die Merktafeln des Anhangs von A1 bis A4
und weitere stehen unter www.sika.de
zum Download bereit.

Verzögerter Beton

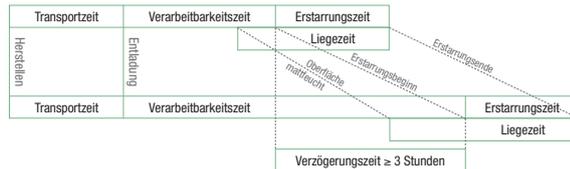
Wichtige Regelungen der DAfStb-Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit, November 2006

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

Beton ohne verzögernde Zusatzmittel



Beton mit verzögernden Zusatzmitteln

Anforderungen

Erstprüfung nach DIN 1045
zusätzlich bei fehlender Erfahrung mit vorgesehener Zement-Zusatzmittel-Kombination



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	$\geq 5 \text{ cm}^3/\text{kg}$ Zement	F2	Konsistenz
	$\geq 3 \text{ cm}^3/\text{kg}$ Zement	F3 und F4/5	
min. Mischzeit	$\geq 5 \text{ min}$	$\leq 6 \text{ m}^2$	Mischerinhalt
	$\geq 10 \text{ min}$	$> 6 \text{ m}^2$	

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.

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 1 VZ 2 VZ 51
Betonverflüssiger	BV 1M, BV 3M			
Fließmittel	ViscoCrete-1020 X	X		X
	ViscoCrete-1035	X		X
	ViscoCrete-1040	X		X
	ViscoCrete-1050	X		X
	ViscoCrete-1051	X		X
	ViscoCrete-1052	X		X
	ViscoCrete-1053	X		X
	ViscoCrete-1063	X	X	X
	ViscoCrete-20 GOLD	X		X
	ViscoCrete-20 HE	X		X
	ViscoCrete-20 SL	X		X
	ViscoCrete-2200 HE	X		X
	ViscoCrete-2420	X		X
	ViscoCrete-2500	X		X
	ViscoCrete-2600	X		X
	FM 5	X		X
	FM 1			
	FM 6			
	FM 62			
	FM 9	X	X	X
	FM 93	X	X	X
	FM 95	X	X	X
Verzögerer	VZ 1, VZ 4, VZ 5, VZ51	X		

HeidelbergCement AG Verkauf Deutschland

Berliner Str. 6 · 69120 Heidelberg
Telefon 06221 481-9474 · Telefax 06221 481-9489
E-Mail verkauf@heidelbergcement.com

Entwicklung & Anwendung
Oberklamweg 6 · 69181 Leimen · Telefax 06224 703-402

Der Geschäftsbereich Zement/Deutschland der HeidelbergCement AG ist
zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 und 14001 - Reg. Nr. 3454 DQS

Verkaufsregion Südwest

Dammweg 1 · 55130 Mainz
Tel. 06131 805-385 · Fax 06131 805-250
E-Mail vk-mainz-weisenau@heidelbergcement.com

Verkaufsregion Süd

Baubergerstraße 30 · 80992 München
Tel. 089 143681-11 · Fax 089 143681-35
E-Mail vk-muenchen@heidelbergcement.com

Verkaufsregion Südost

Schmidmühlener Straße 30 · 93133 Burglengenfeld
Tel. 09471 707-71 · Fax 09471 707-397
E-Mail vk-burglengenfeld@heidelbergcement.com

Verkaufsregion Nord

Zur Anneliese 7 · 59320 Ennigerloh
Tel. 02524 29-211 · Fax 02524 29-151
E-Mail vk-ennigerloh@heidelbergcement.com

Verkaufsregion Ost

Am Nordhafen 11 · 15711 Königs Wusterhausen
Tel. 03375 5628-39 · Fax 03375 5628-28
E-Mail zementwerk.koenigswusterhausen@heidelbergcement.com

**Herausgeber
HeidelbergCement AG
Zentraleuropa West
Entwicklung & Anwendung**

Herausgeber:

HeidelbergCement AG

Entwicklung & Anwendung
Oberklamweg 6
69181 Leimen
Telefax 06224-703-402

www.heidelbergcement.de

HEIDELBERGCEMENT