

Betontechnische Daten



ZERTIFIKAT

FIZ-Zert – Zertifizierungsstelle für Managementsysteme
der Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH
Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf
bescheinigt hiermit, dass das Unternehmen

SCHWENK Zement KG
Hindenburgring 15
D-89077 Ulm
mit den Betriebsstätten
Werksgruppe Nord – Bernburg und Karlstadt
Werksgruppe Süd – Allmendingen und Mergelstetten

für den Geltungsbereich
Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Zementen und Spezialbindemitteln

ein Qualitäts- und Umweltmanagementsystem
eingeführt hat und anwendet.

Durch das Zertifizierungsaudit (Bericht-Nr. 042/10)
wurde der Nachweis erbracht, dass dieses Managementsystem
die Forderungen folgender Normen erfüllt:

DIN EN ISO 9001 : 2008

Qualitätsmanagementsysteme:
Anforderungen
(Ausgabe Dezember 2008)

DIN EN ISO 14001 : 2009

Umweltmanagementsysteme –
Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung
(Ausgabe November 2009)

Dieses Zertifikat ist gültig bis: **06.07.2014**

Zertifikat-Register-Nr.: **FIZ-Zert 042/10**

Düsseldorf, 7. Juli 2011

Akkreditiert durch die TGA im Deutschen
Akkreditierungsrat



Reg.-Nr. TGA-ZM-30-97-00
Reg.-Nr. TGA-ZM-30-97-60

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'S. Fixe', is written over a horizontal line.

Für FIZ-Zert

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'G. Oster', is written over a horizontal line.

Mitglied des Zertifizierungsausschusses

Betontechnische Daten

Herausgeber: SCHWENK Zement KG,
Hindenburgring 15, 89077 Ulm

8. Ausgabe 2013

Die Angaben in dieser Druckschrift beruhen auf derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Mit der Herausgabe dieser Druckschrift verlieren frühere Druckschriften ihre Gültigkeit. Änderungen im Rahmen produkt- und anwendungstechnischer Weiterentwicklungen bleiben vorbehalten. Es gelten für alle Geschäftsbeziehungen unsere Verkaufs- und Lieferbedingungen in der jeweils aktuellen Version.

**SCHWENK***Baustoffe fürs Leben*

Die Baustoffgruppe SCHWENK

Als international tätiges Unternehmen produziert SCHWENK an über 100 Standorten in Deutschland, dem europäischen Ausland, auf der arabischen Halbinsel und in Afrika. Die Unternehmen der Baustoffgruppe liefern Produkte sowie Bausysteme und bieten Serviceleistungen für die unterschiedlichsten Bauaufgaben.

Zement

Die SCHWENK Zement KG ist das Stammhaus der Baustoffgruppe und bietet ein umfassendes Programm unterschiedlicher Zemente und Spezialbaustoffe. An vier Standorten in Deutschland werden diese in ökonomisch und ökologisch vorbildlichen Produktionsprozessen hergestellt.



Zur Baustoffgruppe SCHWENK gehören die Bereiche:

Transportbeton



Betonbau



Putztechnik



Lithonplus



Inhaltsverzeichnis

1. Zement	19
2. Gesteinskörnungen	105
3. Betonzusatzmittel	165
4. Betonzusatzstoffe	185
5. Zugabewasser	193
6. Beton	201
7. Prüfen und Überwachen von Beton	299
8. Betondeckung der Bewehrung	337
9. ZTV-ING	343
10. Weitere Regelwerke für Betonanwendungen	355
11. Normen und Richtlinien	379
12. Zeichen und Einheiten	397
13. SCHWENK Werke und Adressen	399

1. Zement	19
1.1 Geschichte des Zementes	19
1.2 Zement als Bindemittel	26
1.2.1 Herstellung des Zementes	26
1.2.2 Schematische Darstellung der Zementproduktion	28
1.2.3 Zusammensetzung des Portlandzementes	30
1.2.4 Hydratation der Klinkerphasen	31
1.2.5 Hydratationswärme	34
1.2.6 Aufbau des Zementsteines	35
1.2.7 Eigenschaften des Zementsteines	40
1.2.8 Hauptbestandteile von Zement	47
1.3 Zementnormung im Wandel der Zeit	50
1.3.1 DIN EN 197-1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien für Normalzement	52
1.3.1.2 Die 27 Produkte der Familie der Normalzemente nach DIN EN 197-1:2011	54
1.3.1.3 Festigkeitsklassen	58
1.3.1.4 Erstarren	58
1.3.1.5 Erhärten	58
1.3.1.6 Raumbeständigkeit	58
1.3.1.7 Mahlfeinheit	59
1.3.1.8 Hydratationswärme	59
1.3.1.9 Zementtemperatur	60
1.3.1.10 Schwinden	60
1.3.1.11 Dichte und Schüttdichte	60
1.3.1.12 Farbe	61
1.3.2 Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand	62
nach DIN EN 197-1:2011	
1.3.3 Bezeichnung und Zusammensetzung von Normalzement mit niedriger Anfangsfestigkeit nach DIN EN 197-1:2011 ...	66
1.3.4 Sonderzemente mit sehr niedriger Hydratationswärme nach DIN EN 14216	68
1.3.5 Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164	71
1.3.5.1 Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164-10	71

1.3.5.2	Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164-11	73
1.3.5.3	Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen nach DIN 1164-12	75
1.3.5.4	Kennfarben für die Sackware von Zement	76
1.4	Zemente von SCHWENK	78
1.4.1	Portlandzemente	78
1.4.2	Portlandkompositzemente	86
1.4.3	Hochofenzemente	92
1.5	Spezialbaustoffe von SCHWENK	96
1.5.1	Spezialbindemittel	96
1.5.2	Spezialzemente	102
1.5.3	Mörtel und Betone	102
2.	Gesteinskörnungen für Beton	105
2.1	Die neuen Gesteinskörnungsnormen im Überblick	105
2.2	Begriffe	106
2.3	Einteilung der Gesteinskörnungen nach der Rohdichte	109
2.3.1	Einteilung nach der Kornrohichte	109
2.3.2	Leichte Gesteinskörnung (ausgewählte Stoffarten)	109
2.3.3	Normale Gesteinskörnung (ausgewählte Stoffarten)	109
2.3.4	Schwere Gesteinskörnung und Gesteinskörnung für Strahlenschutz	110
2.4	Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620	111
2.5	Geometrische Anforderungen an Gesteinskörnungen	111
2.5.1	Einteilung der Gesteinskörnungen nach Korngruppen	112
2.5.2	Kornzusammensetzung	113
2.5.2.1	Grobe Gesteinskörnung	114
2.5.2.2	Feine Gesteinskörnung (Sand)	117
2.5.2.3	Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 mm	119
2.5.2.4	Füller (Gesteinsmehl)	119
2.5.3	Sieblinien nach DIN 1045-2, Anhang L (informativ)	120
2.5.3.1	k-Wert und D-Summe	124
2.5.3.2	Wasseranspruch	125

2.5.4	Kornform von groben Gesteinskörnungen	127
2.5.4.1	Plattigkeitskennzahl	127
2.5.4.2	Kornformkennzahl	128
2.5.5	Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen	128
2.5.6	Feinanteile	129
2.5.6.1	Gehalt an Feinanteilen	129
2.5.6.2	Beurteilung von Feinanteilen	130
2.6	Physikalische Anforderungen an Gesteinskörnungen	131
2.6.1	Widerstand gegen Zertrümmerung	131
2.6.1.1	Los Angeles-Koeffizient (LA)	131
2.6.1.2	Schlagzertrümmerungswert (SZ)	132
2.6.2	Widerstand gegen Verschleiß von groben Gesteinskörnungen (Micro-Deval-Koeffizient, M_{DE})	132
2.6.3	Widerstand gegen Polieren und Abrieb von groben Gesteinskörnungen zur Verwendung in Deckschichten	133
2.6.3.1	Widerstand gegen Polieren (Polishing Stone Value - PSV)	133
2.6.3.2	Widerstand gegen Oberflächenabrieb AAV (Aggregate Abrasion Value - AAV)	133
2.6.4	Kornrohdichte und Wasseraufnahme	134
2.6.5	Schüttdichte	134
2.6.6	Dauerhaftigkeit	134
2.6.6.1	Frost- und Tau-Widerstand von groben Gesteinskörnungen	134
2.6.6.2	Raumbeständigkeit – Schwinden infolge Austrocknen	136
2.6.6.3	Alkali-Kieselsäure-Reaktivität (AKR-Richtlinie)	136
2.7	Chemische Anforderungen an Gesteinskörnungen	148
2.7.1	Chloride	148
2.7.2	Schwefelhaltige Bestandteile	149
2.7.2.1	Säurelösliches Sulfat	149
2.7.2.2	Gesamtschwefel	149
2.7.3	Andere Bestandteile	150
2.7.3.1	Bestandteile, die das Erstarrungs- und Erhärtungsverhalten des Betons verändern	150

2.7.3.2	Bestandteile, die die Raumbeständigkeit von Hochfeststückerbetonen beeinflussen	151
2.7.3.3	Carbonatgehalt von feinen Gesteinskörnungen für Deckschichten aus Beton	152
2.8	Regelanforderungen für Gesteinskörnungen	152
2.9	Leichte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620-1	154
2.9.1	Schüttdichte	154
2.9.2	Kornrohdichte (wirksame)	155
2.9.3	Kornfestigkeit	155
2.9.4	Chemische Anforderungen an leichte Gesteinskörnungen	155
2.9.4.1	Chloride	156
2.9.4.2	Organische Bestandteile	156
2.10	Regelanforderungen für leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620-1	157
2.11	Wiedergewonnene Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620-1 und DIN 1045-2	158
2.11.1	Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN 4226- 100 und DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 12620-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100“	158
2.11.1.1	Liefertypen und stoffliche Zusammensetzung	159
2.11.1.2	Kornrohdichte und Wasseraufnahme	160
2.11.1.3	Frostwiderstand	160
2.11.1.4	Regelanforderungen	161
2.11.1.5	Bewertung der Inhaltsstoffe	161
2.11.1.6	Herstellung von Beton	162
3.	Betonzusatzmittel	165
3.1	Definition und Anforderungen	165
3.2	Wirkungsgruppen und Kennzeichnung von Betonzusatzmitteln	168
3.2.1	Betonverflüssiger (BV)	169

3.2.2	Fließmittel (FM)	170
3.2.3	Luftporenbildner (LP)	171
3.2.4	Dichtungsmittel (DM)	173
3.2.5	Verzögerer (VZ)	174
3.2.6	Beschleuniger (BE)	177
3.2.7	Einpresshilfen (EH)	178
3.2.8	Stabilisierer (ST)/Sedimentationsreduzierer (SR)	179
3.2.9	Recyclinghilfen für Waschwasser (RH)	179
3.2.10	Chromatreduzierer (CR)	180
3.2.11	Schaumbildner (SB)	181
3.2.12	Multifunktionelle Betonzusatzmittel	181
3.3	Allgemeine Hinweise	182
4.	Betonzusatzstoffe	185
4.1	Flugasche (f)	185
4.2	Silicastaub (s)	186
4.3	Füller (Gesteinsmehl)	186
4.4	Farbpigmente	186
4.5	Anrechenbarkeit von Zusatzstoffen Typ II	187
4.5.1	k-Werte	187
4.5.2	Äquivalenter Wasserzementwert	187
4.5.3	Einsatz von Flugasche nach DIN EN 450	187
4.5.4	Einsatz von Silicastaub	190
4.5.5	Gleichzeitiger Einsatz von Flugasche und Silicastaub	190
4.6	Hüttensand	191
5.	Zugabewasser	193
5.1	Klassifikation der Arten von Wasser	193
5.2	Restwasser	194
5.2.1	Zusammensetzung des Restwassers	194
5.2.2	Anforderungen	194
5.2.3	Probenahme	197

6. Beton	201
6.1 Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 (mit Änderung A1)	201
6.1.1 Zusammenhang der Normen im Betonbau	201
6.1.2 Begriffe	202
6.2 Klasseneinteilung	207
6.2.1 Expositionsklassen	207
6.2.1.1 Expositionsklassen bezogen auf die Umgebungs- bedingungen	208
6.2.1.2 Grenzwerte für die Expositionsklassen bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser nach DIN 4030-1	218
6.2.1.3 Expositionsklassen nach DIN 1045-2 (Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1)	222
6.2.2 Konsistenzklassen	228
6.2.2.1 Ausbreitmaßklassen	228
6.2.2.2 Verdichtungsmaßklassen	228
6.2.2.3 Setzmaßklassen	229
6.2.2.4 Setzzeitklassen (Vébé)	229
6.2.3 Druckfestigkeitsklassen	230
6.2.3.1 Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton nach DIN EN 206-1	232
6.2.3.2 Druckfestigkeitsklassen für Leichtbeton nach DIN EN 206-1	233
6.2.4 Rohdichteklassen	234
6.3 Anforderungen an Beton	235
6.3.1 Grundanforderungen an die Ausgangsstoffe für die Verwendung in Beton	235
6.3.1.1 Zement	236
6.3.1.2 Gesteinskörnung	236
6.3.1.3 Zugabewasser	236
6.3.1.4 Zusatzmittel	236

6.3.1.5	Zusatzstoffe (einschließlich Gesteinsmehl und Pigmente)	236
6.3.1.6	Fasern	237
6.3.2	Grundanforderungen an die Zusammensetzung des Betons	238
6.3.2.1	Wahl des Zementes	239
6.3.2.2	Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12 und FE-Zemente sowie CEM I-SE und CEM II-SE nach DIN 1164-11 zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2	240
6.3.2.3	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 1045-2	242
6.3.2.4	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 1045-2	244
6.3.2.5	Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 14216 zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2	246
6.3.2.6	Wahl der Gesteinskörnungen	248
6.3.3	Grundanforderungen bei Widerstand gegen Alkali-Kieselsäure-Reaktion	249
6.3.4	Einflüsse der Bestandteile des Betons bei der Verwendung von alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen	250
6.3.4.1	Zement	250
6.3.4.2	Gesteinskörnung	250
6.3.4.3	Betonzusatzstoffe	250
6.3.4.4	Betonzusatzmittel	251
6.3.4.5	Zugabewasser	252
6.3.5	Verwendung von Zusatzstoffen	252

6.3.6	Verwendung von Zusatzmitteln	252
6.3.7	Verwendung von Restwasser	254
6.3.8	Chloridgehalt	254
6.3.8.1	Höchstzulässiger Chloridgehalt von Beton	255
6.3.9	Betontechnologie	256
6.3.9.1	Walz-Kurven	256
6.3.9.2	Stoffraumrechnung	257
6.3.10	Betontemperatur	260
6.3.10.1	Frischbetontemperatur	260
6.3.10.2	Festbetontemperatur	264
6.3.10.3	Festigkeitsentwicklung des Betons in Abhängigkeit von der Frischbetontemperatur	268
6.3.11	Anforderungen in Abhängigkeit von Expositionsklassen	269
6.3.11.1	Grenzwerte für die Betonzusammensetzung	269
6.3.11.2	Mehlkorngehalt	271
6.3.12	Leistungsbezogene Entwurfsverfahren	273
6.3.13	Anforderungen an Unterwasserbeton	273
6.3.14	Beton beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	274
6.3.15	Beton für hohe Gebrauchstemperaturen	274
6.3.16	Hochfester Beton	275
6.3.17	Zementmörtel für Fugen	275
6.4	Anforderungen an Frischbeton	276
6.4.1	Konsistenz	276
6.4.2	Zementgehalt und Wasserzementwert	277
6.4.3	Luftgehalt	278
6.4.4	Größtkorn der Gesteinskörnung	279
6.5	Anforderungen an Festbeton	279
6.5.1	Festigkeit	279
6.5.1.1	Allgemeines	279
6.5.1.2	Druckfestigkeit	280
6.5.1.3	Spaltzugfestigkeit	281
6.5.2	Rohdichte	282
6.5.3	Wassereindringwiderstand	282

6.5.4	Brandverhalten	283
6.5.5	Verschleißwiderstand	283
6.6	Festlegung des Betons	284
6.6.1	Allgemeines	284
6.6.2	Festlegung für Beton nach Eigenschaften	286
6.6.2.1	Allgemeines	286
6.6.2.2	Grundlegende Anforderungen	286
6.6.2.3	Zusätzliche Anforderungen	287
6.6.3	Festlegung für Beton nach Zusammensetzung	288
6.6.3.1	Allgemeines	288
6.6.3.2	Grundlegende Anforderungen	288
6.6.3.3	Zusätzliche Anforderungen	288
6.6.3.4	Verantwortlichkeiten für die Festlegung der Eigenschaften, Betonprüfung, Zusammensetzung, Konformitäts- und Abnahmeprüfung	289
6.6.4	Festlegung für Standardbeton	289
6.6.4.1	Mindestzementgehalt für Standardbeton mit einem Größtkorn von 32 mm und Zement der Festigkeits- klasse 32,5 nach DIN EN 197-1	290
6.6.4.2	Lieferung von Frischbeton	290
6.6.4.3	Festigkeitsentwicklung von Beton bei 20 °C	292
6.7	Nachbehandlung und Schutz von Beton nach DIN 1045-3	292
6.7.1	Allgemeines	292
6.7.2	Nachbehandlungsverfahren	293
6.7.3	Beginn der Nachbehandlung	294
6.7.4	Nachbehandlungsdauer	294
6.7.5	Nachbehandlungsmittel	297
7.	Prüfen und Überwachen von Beton	299
7.1	Konformitätskontrolle für Beton nach Eigenschaften	300
7.1.1	Konformitätskontrolle für die Druckfestigkeit	300
7.1.1.1	Allgemeines	300
7.1.1.2	Probenahme- und Prüfplan	300

7.1.1.3	Mindesthäufigkeit der Probenahme zur Beurteilung der Konformität	302
7.1.1.4	Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit	303
7.1.1.5	Betonfamilie	306
7.1.1.6	Wahl der Betonfamilie	306
7.1.1.7	Konformitätskontrolle mit Betonfamilien	309
7.1.1.8	Das Quotientenverfahren	310
7.1.1.9	Das Differenzverfahren	311
7.1.2	Konformitätskontrolle für die Spaltzugfestigkeit	314
7.1.3	Konformitätskontrolle für andere Eigenschaften als die Festigkeit	314
7.2	Konformitätskontrolle für Beton nach Zusammensetzung einschließlich Standardbeton	314
7.3	Durchführung der Konformitätskontrolle	316
7.4	Maßnahmen bei Nichtkonformität des Produktes	323
7.5	Produktionskontrolle	325
7.5.1	Betonzusammensetzung und Erstprüfung	326
7.6	Konformitätskontrolle auf der Baustelle nach DIN 1045-3:2008-08	328
7.6.1	Überwachungsklassen für Beton	330
7.6.2	Umfang und Häufigkeit der Prüfungen	332
7.6.3	Annahmekriterien für die Druckfestigkeitsprüfungen	334
8.	Betondeckung der Bewehrung	337
8.1	Mindestbetondeckung c_{\min} zum Schutz gegen Korrosion und Vorhaltemaß Δc in Abhängigkeit von der Expositionsklasse	338
8.2	Weitere ausgesuchte Anforderungen an die Betondeckung	339
8.2.1	Mindestbetondeckung c_{\min} zur Sicherung des Verbundes	339
8.2.2	Mindestbetondeckung c_{\min} bei Leichtbeton	339
8.2.3	Mindestbetondeckung c_{\min} bei Verschleißbeanspruchung	339

8.2.4	Mindestbetondeckung c_{\min} beim Betonieren gegen unebene Flächen	340
8.2.5	Verlegemaß c_v	340
9.	ZTV-ING	343
9.1	Verwendung von Zementen und Zusatzstoffen	344
9.2	Verwendung von Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620	345
9.3	Verwendung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	345
9.4	Zuordnung der Expositionsclassen	348
9.5	Grenzwerte der Betonzusammensetzung	350
9.6	Beispiel Brücke	352
10.	Weitere Regelwerke für Betonanwendungen	355
10.1	Massige Bauteile aus Beton	355
10.1.1	DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ (2010-04)	355
10.2	Selbstverdichtender Beton	361
10.2.1	DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie)“	361
10.3	Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton	363
10.3.1	DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“	363
10.4	Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	367
10.4.1	Anforderungen an den Beton	368
10.5	Bohrpfahlbeton	369
10.5.1	Anforderungen an die Ausgangsstoffe	369
10.5.2	Anforderungen an Betonzusammensetzung	370
10.5.3	Erstprüfung und Überwachung von Bohrpfehlbeton	371
10.6	Sichtbeton	371
10.6.1	DBV-Merkblatt Sichtbeton (August 2004)	371

11. Normen und Richtlinien	379
11.1 Zement, Bindemittel	379
11.2 Zusatzstoff	381
11.3 Gesteinskörnung	381
11.4 Zusatzmittel	386
11.5 Zugabewasser	387
11.6 Beton	388
11.7 Sonstige Normen und Regelwerke	391
11.8 DAfStb-Richtlinien	395
12. Zeichen und Einheiten	397
13. SCHWENK Werke und Adressen	399
13.1 SCHWENK Zement KG	399
13.2 SCHWENK Transportbeton GmbH & Co. KG	406



1. Zement

1.1 Geschichte des Zementes

Betrachtet man die Geschichte der Bindemittel, so stellt der Zement das bisherige Endglied einer langen Entwicklungskette dar.

Am Anfang dieser Kette stand der Wunsch des Menschen, sich künstliche Behausungen zu schaffen, ohne dabei auf natürliche Gegebenheiten wie Höhlen oder Felsdächer angewiesen zu sein. Dabei wurden zusammengebundene Zweige mit dem natürlichen Bindemittel Erde zusammengehalten, welches durch Austrocknung erhärtete. Die bindigen Bestandteile Lehm und Ton, die in der Erde enthalten waren, können somit als die ersten frühgeschichtlichen Bindemittel angesehen werden.

Von diesen frühen natürlichen Bindemitteln, deren Erhärtung auf dem rein physikalischen Vorgang der Austrocknung beruhte, bis hin zu künstlich hergestellten Bindemitteln, die aufgrund eines chemischen Prozesses erhärteten, war es ein weiter Weg.

9.000 v.Chr. Als ältestes, künstlich hergestelltes Bindemittel kann der Gips angesehen werden. Wann genau die besonderen Eigenschaften von gebranntem Gips entdeckt wurden, entzieht sich unserer Kenntnis. Sicher belegt ist, dass bereits 9.000 v. Chr. in der Stadt Catal Huyuk in Kleinasien gebrannter Gips als Gipsputz eingesetzt wurde.

7.000 v.Chr. Fast ebenso alt wie dieser Gipsputz sind die ältesten Funde, die den Einsatz von gebranntem Kalk als Bindemittel dokumentieren. Etwa 7.000 v. Chr. wurde in den Fußböden von Hütten der Siedlung Lepenski Vir gebrannter Kalk zusammen mit Kies, Sand und Wasser eingesetzt. Im Laufe der folgenden Jahrtausende erkannten unsere Vorfahren offensichtlich, dass sich gebrannter Gips und Kalk in reiner Form nicht für alle bautechnischen An-

wendungen eignen. Insbesondere in Bereichen, wo es darauf ankam, dass das Bindemittel auch unter Wasser erhärtet und dem Angriff des Wassers dauerhaft standhält, mussten andere Bindemittel eingesetzt werden.

1.000
v.Chr.

Die ersten Bindemittel, die nach unserem heutigen Verständnis als hydraulisch anzusehen sind, wurden beim Bau der Zisternen von Jerusalem 1.000 v. Chr. eingesetzt. Durch die Zugabe von Ziegelmehl zum Branntkalk konnte ein hydraulischer Mörtel hergestellt werden, der sich durch große Dauerhaftigkeit auszeichnete. Dies wird u.a. auch dadurch belegt, dass einige dieser Zisternen noch heute in Betrieb sind.

Viele spätere Bauwerke der Griechen und Römer im Bereich des Hafen-, Brücken- und Wasserleitungsbaus wären ohne den Zusatz von hydraulischen Komponenten zum Kalk, wie Ziegelmehl, vulkanischen Aschen oder Trass, nicht zu realisieren gewesen.

Der Begriff Zement tauchte, wenn auch mit völlig anderer Bedeutung, erstmals bei den alten Römern auf. Sie bezeichneten den Zuschlag, den sie für ihr Gussmauerwerk (Opus Caementitum - Römerbeton) nutzten, als Caementum. Später wurden die hydraulischen Zusatzstoffe (Ziegelmehl, Trass, natürliche Puzzolane) als Ciment (Frankreich), Cement (England) oder Zymment (Deutschland) bezeichnet.

1756 -
1759

Der entscheidende Schritt hin zum heutigen Zement ist wohl dem Engländer J. Smeaton in den Jahren 1756 – 1759 gelungen. Nachdem er mit dem Neubau eines Leuchtturms vor Plymouth beauftragt wurde, beschäftigte er sich intensiv mit der Frage der Hydraulizität von Kalken. Der Stand des Wissens zu dieser Fragestellung war zur damaligen Zeit alles andere als befriedigend. Oft war die Meinung anzutreffen, dass die Härte des

Kalkes ein wesentlicher Faktor für seine Verwendung im Wasserbau sei. Der Verdienst von Smeaton war es zu zeigen, dass der Tongehalt des Kalkes den ausschlaggebenden Bestandteil für die Herstellung hydraulischer Kalke darstellt. Der von Smeaton mit hydraulischem Kalk und Puzzolanerde gebaute Edystone-Leuchtturm wird später von Michaelis als „Hauptpfeiler der modernen Baukunst“ bezeichnet.

1796 Angeregt durch die Arbeiten von Smeaton stellte J. Parker im Jahre 1796 erstmals industriell hydraulische Kalke her. Er nannte sein Produkt, das aus den sogenannten Mergelnieren des Londoner Septarientones erbrannt wurde, Romancement.

1810 Der Schritt vom Brennen hydraulischer Kalke auf der Grundlage von natürlichen Kalken mit hohem Tonanteil (Smeaton, Parker) bis hin zum Brennen von künstlichen Mischungen zur Erzielung hydraulischer Eigenschaften war nicht mehr weit. Bereits 1810 meldete E. Dobbs ein Patent an, das als Ansatz zur Herstellung eines Zementes aus einer künstlichen Mischung aus Kalk, Ton, Lehm, Schiefer, Sand und verschiedenen Metalloxiden angesehen werden kann.

1824 Als Geburtsjahr des Portlandzementes gilt im Allgemein das Jahr 1824. In diesem Jahr meldete der Maurermeister J. Aspdin ein Patent zur Herstellung eines Zementes an, den er aus einer Schlämme aus Kalk und Ton erbrannte. Das gebrannte Gemisch wurde nachfolgend zu einem feinen Pulver zermahlen, welches Aspdin als Portland-Cement bezeichnete. Es ist jedoch zu bezweifeln, dass dieser Portlandzement unserem heutigen Verständnis von diesem Bindemittel entsprach, da J. Aspdin sein Gemisch offensichtlich nur bei Temperaturen unterhalb der Sintertemperatur brannte. Den ersten Portlandzement im heutigen Sinne stellte offenbar erst sein Sohn W. Aspdin im Jahre **1843** her.

Die sprunghafte Entwicklung der englischen Zementindustrie führte in den nachfolgenden Jahren zu immer besseren Zementqualitäten. Allerdings konnte dem bislang nicht zementproduzierenden Ausland auch ein recht hoher Preis diktiert werden. Dies veranlasste den deutschen Chemiker H. Bleibtreu im Jahre 1852 dazu, die englischen Zemente genau zu untersuchen und eigene Mischungen zu erstellen. Bereits im Jahre 1853 konnte durch ihn in einem Zementwerk in der Nähe von Stettin der erste deutsche Portlandzement hergestellt werden.

Einen erheblichen Anteil daran, dass sich die deutsche Zementindustrie in den darauffolgenden Jahren erfolgreich entwickelte und englische Importe immer weiter zurückgedrängt werden konnten, hatte der deutsche Chemiker W. Michaelis (1840 - 1911). Durch seine Arbeiten bezüglich der Herstellung von Portlandzementen, der Zementprüfverfahren und der Zementanforderungen legte er den Grundstein für viele spätere Entwicklungen.

Einmal in Gang gesetzt, nahm die Entwicklung in der Zementindustrie einen rasanten Verlauf. Nur wenige Jahre nach der Herstellung des ersten deutschen Portlandzementes entdeckte E. Langen 1862 die hydraulischen Eigenschaften von glasig erstarrter Hochofenschlacke (Hüttensand). Im Jahre 1882 stellte G. Prüssing den ersten Hüttenzement mit einem Hüttensandanteil von 30 % her. Der erste Tonerdezement wurde während des ersten Weltkrieges 1914/1918 in Frankreich hergestellt.

Die weitere Entwicklung war dadurch gekennzeichnet, dass sich die Zementproduzenten auf immer speziellere Anforderungen an ihre Zemente einstellten. So kam es beispielsweise zur Herstellung von Zementen mit hohem Sulfatwiderstand, von frühhochfesten Zementen und von Zementen mit niedriger Hydratationswärme.

Auch in der Gegenwart hält dieser Entwicklungstrend unvermindert an. Dass die Zementindustrie gewillt ist, sich auch zukünftig den neuen Anforderungen aus der Bauwirtschaft zu stellen, wird durch eine Vielzahl von inzwischen entwickelten Spezialbindemitteln (z.B. Spritzzemente, Feinstzemente) dokumentiert.

Vom Kupferhammer zur erfolgreichen Baustoffgruppe



Eduard Schwenk
*1812 †1869



Marie Schwenk
geb. Reichard
*1828 †1904



Carl Schwenk
*1852 †1942



Dr. Carl Schwenk
*1883 †1978

Als das älteste Familienunternehmen der Branche hat SCHWENK die Zementindustrie mit aufgebaut und geprägt wie nur wenige andere.

Eduard Schwenk gründet die Firma 1847 und nimmt in einem „Kupferhammer“ die Zementproduktion auf. Die ersten eigenen Öfen werden 1857 in Allmendingen und Gerhausen in Betrieb genommen.

Nach dem frühen Tod von Eduard Schwenk baut seine Witwe, Marie Schwenk, das Unternehmen weiter aus. 1874 tritt ihr Sohn, Carl Schwenk, in die Firma ein. 1875 richtet er das erste Qualitätslabor ein und eröffnet 1889 in Allmendingen ein neues Werk.

Bereits wenige Jahre später beginnen die Planungen für ein weiteres Zementwerk, welches 1901 in Mergelstetten seinen Betrieb aufnimmt.

1913 tritt Dr. Carl Schwenk, Sohn von Carl Schwenk, in das väterliche Unternehmen ein. Gemeinsam verbessern sie die Wettbewerbsfähigkeit der Werke in den folgenden Jahren.

1937 erwirbt SCHWENK das nord-bayerische Zementwerk Karlstadt.

1953 feiert Dr. Carl Schwenk seinen 70sten Geburtstag. Im gleichen Jahr tritt Dr. Eberhard Schleicher in das Unternehmen ein. Kaum zwei Jahre später geht in Allmendingen der erste Drehrohrofen in Betrieb.



Dr. Eberhard Schleicher
*1926 †2007

Dr. Carl Schwenk stirbt 1978 im Alter von 95 Jahren.

Mit Beginn der 80er Jahre werden die Werke grundlegend modernisiert und am Ausbau der Unternehmensbereiche weitergearbeitet. 1990 erwirbt SCHWENK die Zementwerke Bernburg. Nach einem kompletten Neubau wird das modernste Zementwerk Europas bereits 1992 in Betrieb genommen.

Dr. Eberhard Schleicher und sein Sohn Eduard Schleicher führen das Unternehmen ins neue Jahrtausend.

Die klare Struktur mit organisatorisch und rechtlich selbstständigen Unternehmen erhöht die Wettbewerbsfähigkeit der Gruppe.



Im Jahr 2007 stirbt Dr. Eberhard Schleicher im Alter von 81 Jahren. Fortan wird das Unternehmen von Eduard Schleicher geführt.

Nach einer konsequenten Modernisierung der deutschen Zementwerke zwischen 2007 und 2011, nimmt die SCHWENK Zement KG heute eine technologische Spitzenposition ein.

Gleichzeitig wird das Auslandsengagement verstärkt. Neben erfolgreichen Beteiligungen in Ungarn, Bosnien-Herzegowina und im Sultanat Oman, expandiert SCHWENK auf den afrikanischen Kontinent und errichtet das erste Zementwerk Namibias.

1.2 Zement als Bindemittel

1.2.1 Herstellung des Zementes

Gewinnung und Aufbereitung der Rohstoffe

Für die Zementherstellung wird im Wesentlichen ein Stoffgemisch benötigt, welches die vier Oxide Calcium-, Silicium-, Aluminium- und Eisenoxid enthält. Das Mengenverhältnis dieser Oxide bestimmt die im Brennprozess erzeugten Eigenschaften des Zementes. Deshalb stellt die optimale Zusammensetzung des Rohstoffgemisches den ersten Schritt der Qualitätssteuerung bei der Zementherstellung dar. Geliefert werden die o.g. Oxide durch folgende Rohstoffe:

- Calciumoxid aus Kalkstein, kalkreichem Mergel, Kreide
- Siliciumoxid aus Ton, Lehm, Quarzsand, tonreichem Mergel
- Aluminiumoxid aus Ton, Lehm, tonreichem Mergel, Bauxit
- Eisenoxid aus Ton, Laterit, Kiesabbrand

Die Rohstoffe werden in Steinbrüchen überwiegend durch Sprengen gewonnen und nachfolgend in Brechanlagen zu Schotter zerkleinert. Da alle Zementrohstoffe als Sedimentgesteine natürlichen Ursprungs angesehen werden können, treten unvermeidbare Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung des Abbaumaterials auf. Um eine gleichmäßige Zusammensetzung des Rohmaterials zu erreichen, wird deshalb vielfach bereits der Rohschotter homogenisiert. Dies geschieht dadurch, dass das Material zu rechteckigen oder kreisförmigen Halden, sogenannten Mischbetten, aufgeschüttet und anschließend quer zur Schichtung wieder abgetragen wird.

Mahlen des Rohmaterials

Nach vorheriger Analyse und Dosierung der natürlichen Mineralkomponenten wird das Rohstoffgemisch in einer Mühle feingemahlen. Dabei wird das Mahlgut mit der Abwärme des Brennofens in der Mahlanlage getrocknet (Mahltrocknungsanlage). Nach der Mahltrocknung werden noch bestehende Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung in Homogenisiersilos ausgeglichen.

Brennen

Während des Brennprozesses wird aus dem Rohmehl der sogenannte Zementklinker gebrannt. Dabei durchläuft das Rohmehl mehrere Umwandlungsprozesse:

1. Abgabe der Restfeuchtigkeit
2. Abgabe des chemisch gebundenen Wassers (ca. 500 °C)
3. Entsäuerung des Kalksteines (ca. 800 °C – 1.000 °C)
4. Bildung der Klinkerphasen (ca. 1.000 °C – 1.450 °C)

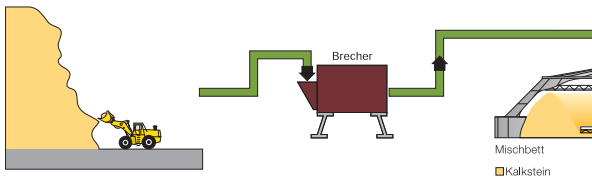
Noch vor gar nicht langer Zeit war in der Zementindustrie eine Vielzahl von unterschiedlichen Brennverfahren in Gebrauch. Heute wird das Rohstoffgemisch fast ausschließlich im Trockenverfahren mit vorgeschaltetem Zyklonvorwärmer gebrannt. Hierbei wird das Rohmehl, noch bevor es in den Drehrohrofen gelangt, in einen Vorwärmer mit Hilfe der Ofenabgase auf Temperaturen bis ca. 1.000 °C aufgeheizt. Wesentliche Umwandlungsprozesse am Rohmehl bis hin zu einer partiellen Entsäuerung des Kalksteines finden somit schon im Vorwärmer und nicht erst im Ofen statt. Neben einer Reihe anderer Vorteile wird dadurch insbesondere die Wärmebilanz des Brennprozesses deutlich verbessert. Dem Vorwärmer schließt sich dann das eigentliche Brennaggregat – der Drehrohrofen – an. Bei Temperaturen zwischen 1.000 °C und 1.450 °C findet die Bildung der vier Hauptklinkerphasen Alit, Belit, Aluminat- und Aluminatferritphase statt, die die Grundlage für die Erhärtung des späteren Zementes darstellen und auf die an anderer Stelle noch ausführlich eingegangen wird. Der für die Zementqualität äußerst wichtige Alit bildet sich dabei erst im Sinterbereich des Ofens (1.300 °C – 1.450 °C) aus.

Klinkerkühlung und Zementmahlung

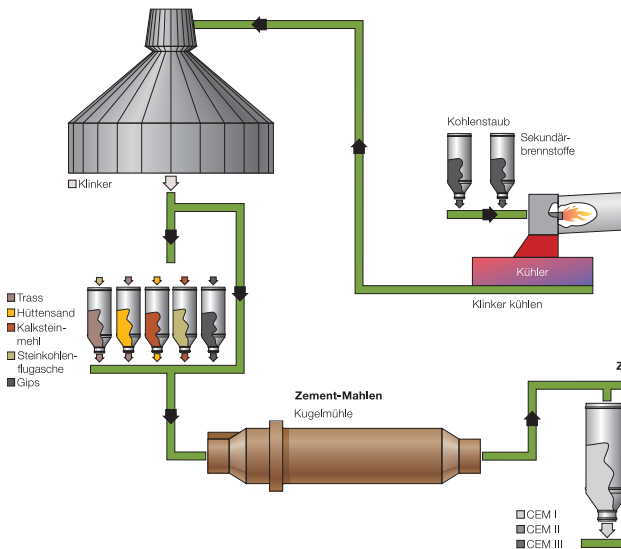
Nach dem Brennen wird der noch glühende Klinker einer Kühlung unterzogen. Die Kühlung ist ein technologisch sehr wichtiger Teilprozess. Die Geschwindigkeit der Kühlung beeinflusst die Strukturausbildung der Klinkerphasen ganz wesentlich und wirkt sich somit auch auf die späteren Eigenschaften der Zemente aus. Die Kühlung erfolgt zumeist in Rost-

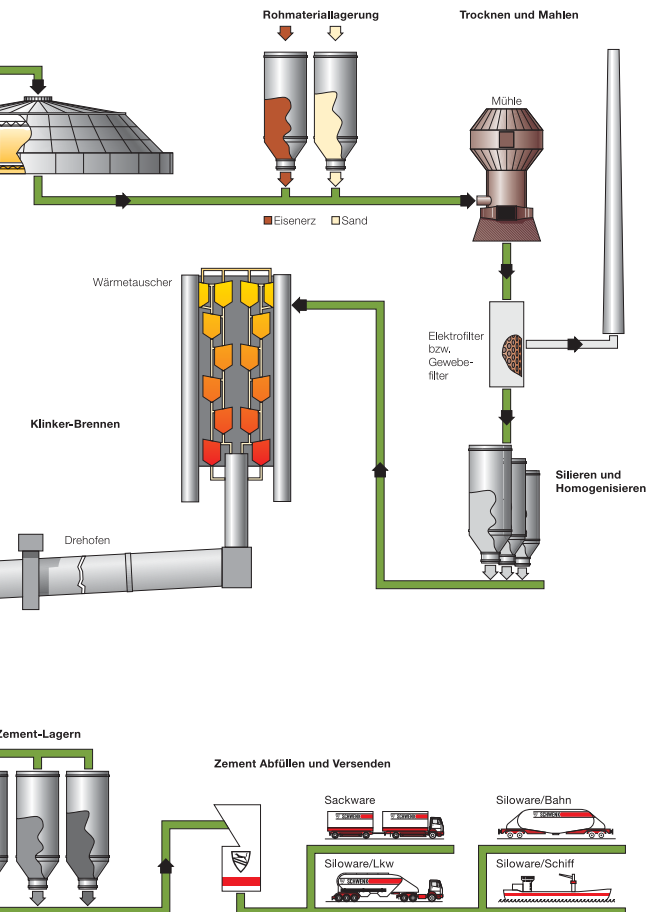
1.2.2 Schematische Darstellung der Zementproduktion

Kalkstein Abbau



Klinker-Lagern





kühlern, in denen der Klinker auf einem Transportrost bewegt und im Querstrom gekühlt wird. Im Ergebnis der Kühlung entsteht der sogenannte Zementklinker. Die Bezeichnung „Klinker“ stammt aus der Frühzeit der Zementherstellung, als das Rohstoffgemisch noch in Form von Ziegeln gebrannt wurde.

Nach einer Zwischenlagerung des Klinkers erfolgt dessen Vermahlung zu Zement. Um ein zu schnelles Erstarren des Zementes beim Hydrationsprozess zu verhindern, wird dem Klinker bei seiner Vermahlung zu Zement Calciumsulfat als Abbinderegler zugegeben. Dabei handelt es sich meist um Gemische aus Anhydrit und Gipsstein.

1.2.3 Zusammensetzung des Portlandzementes

Als die Zementchemie noch ganz am Anfang stand, war man der Auffassung, dass es sich bei Zement um eine einheitliche chemische Verbindung handelt, die durch die Reaktion von Kalk und Ton entstanden ist. Erst die Arbeiten von Le Chatelier (1882) und besonders von Törnebohm (1897) zeigten, dass der Portlandzement ein Mehrphasensystem darstellt, das im Wesentlichen die in nachfolgender Tabelle aufgeführten vier Hauptklinkerphasen enthält:

Hauptklinkerphasen im Portlandzement (PZ)

Bezeichnung	Formel	Kurz-bez.	durchschnittl. Gehalt im PZ
Tricalciumsilicat oder Alit	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	63 %
Dicalciumsilicat oder Belit	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	16 %
Tricalciumaluminat oder Aluminatphase	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	11 %
Calciumaluminatferrit o. Aluminatferritphase	$2\text{CaO} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)$	$\text{C}_2(\text{A}, \text{F})$	8 %

Neben diesen vier Hauptklinkerphasen enthält der Portlandzement noch eine Reihe von Nebenbestandteilen, wie den freien Kalk (CaO), den Periklas (MgO) und Alkalisulfate.

Während die Klinkerphasen als die Hauptträger der Erhärtung und Beständigkeit der Zemente anzusehen sind, sind die Nebenbestandteile zumeist nur dann von praktischer Bedeutung, wenn bestimmte charakteristische Grenzwerte überschritten werden.

1.2.4 Hydratation der Klinkerphasen

Das Erstarren und Erhärten des Zementes nach Zugabe von Wasser erfolgt dadurch, dass sich aus den Klinkerphasen wasserhaltige Verbindungen, die sogenannten Hydratphasen, bilden.

Für die Erhärtung ist die Hydratation der silicatischen Phasen, also die des C_3S und des C_2S , von überragender Bedeutung. Aus beiden Phasen bilden sich bei Zutritt von Wasser Calciumsilicathydrate der Formel $m\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Eine exakte Zusammensetzung kann für diese Hydratphasen, die kurz C-S-H-Phasen genannt werden, nicht angegeben werden, da der Wert von m und n nicht konstant ist. Die Zusammensetzung der C-S-H-Phasen im Portlandzementstein hängt in erster Linie vom Wasserzusatz ab. Je größer der w/z -Wert, um so kalkärmer sind die Hydrate.

Die einzelnen C-S-H-Partikel sind sehr klein (Kristallgröße überwiegend $< 0,1 \mu\text{m}$), weshalb die C-S-H-Phase meist als Zementgel bezeichnet wird. Die Kristallstruktur ist aufgrund der geringen Größe auch heute noch nicht eindeutig geklärt. Man geht davon aus, dass es sich um Nadeln oder Leisten handelt, die in Form aufgerollter Folien vorliegen. Dazwischen soll das sogenannte Zwischenschichtwasser oder auch Gelwasser eingelagert sein.

Charakteristisch für die C-S-H-Phasen ist ihre extrem große spezifische Oberfläche. Sie liegt in der Größenordnung von 250 bis 300 m^2/g und ist damit ca. 1.000 mal größer als die der ursprünglichen silicatischen Klinker-

phasen im nichthydratisierten Zement. Die damit verbundenen sehr großen Massenanziehungskräfte (van der Waalsche-Kräfte) innerhalb des Gels führen neben der chemischen Bindung dazu, dass die C-S-H-Phasen die Hauptträger der Festigkeit im erhärteten Zement darstellen.

Neben den C-S-H-Phasen entsteht bei der Hydratation der silicatischen Klinkerphasen auch Calciumhydroxid (Portlandit). Das Calciumhydroxid liegt im Gegensatz zum C-S-H-Gel in Form großer Kristalle (bis 0,2 mm) vor. Der Festigkeitsbeitrag dieser makroskopischen Portlanditkristalle muss als sehr gering angesehen werden. An dieser Stelle sei jedoch auf die große Bedeutung des Calciumhydroxides bezüglich der Passivierung des Bewehrungsstahles im Beton hingewiesen. Erst hierdurch wurde die Stahlbetonbauweise möglich.

Wesentlich komplexer als die Hydratation der Silicate stellt sich die Umwandlung des C_3A und des $C_2(A,F)$ in entsprechende Hydratphasen dar. Welche Vorgänge sich dabei abspielen, hängt sehr stark vom Sulfatangebot in der Porenlösung ab.

Aufgrund der Zugabe des als Abbinderegler fungierenden Gips-Anhydrit-Gemisches zum Zementklinker ist zu Beginn der Hydratation der Sulfatgehalt der Lösung relativ hoch. Aus dem C_3A bildet sich dann primär das Trisulfat $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$, welches auch unter der Bezeichnung Ettringit bekannt ist. Nachdem durch diese primäre Ettringitbildung das gesamte Sulfat aus der Lösung verbraucht wurde, steht in den allermeisten Fällen noch ursprüngliches C_3A für die weitere Hydratation zur Verfügung, für das nun allerdings kein Sulfat mehr bereit steht. Da das C_3A jedoch eine sehr große Neigung zur Bildung sulfathaltiger Hydratphasen aufweist, bildet sich nun unter Zerfall des zunächst gebildeten Ettringits eine sulfatärmere Phase aus - das Monosulfat $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$. Erst wenn nach der Monosulfatbildung immer noch nicht umgesetztes C_3A vorhanden sein sollte, kommt es zur Bildung der sulfatfreien Hydratphase $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$, welche später in stabiles $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ übergeht.

Ähnliche Hydratphasen wie bei dem C_3A bilden sich auch aus dem $C_2(A,F)$, wobei dann jedoch Al_2O_3 teilweise durch Fe_2O_3 ersetzt wird. Der Beitrag der beschriebenen Hydratphasen des C_3A und des $C_2(A,F)$ zur Erhärtung des Zementsteines ist umstritten. Nicht zur Diskussion steht jedoch, dass die entsprechenden Hydratphasen für den Vorgang des Erstarrens von wesentlicher Bedeutung sind.

Würde feingemahlener Zementklinker ohne oder mit zu wenig Abbinderegler (Calciumsulfat) mit Wasser angemacht, wäre ein sofortiges Erstarren (Löffelbinder) die Folge. Als Ursache für diesen unerwünschten Effekt kann die sofortige Bildung von Tetracalciumaluminathydrat $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$ aus C_3A in sulfatfreien Lösungen angesehen werden. Die großen tafelförmigen Kristalle dieser sulfatfreien Hydratphase bilden Brücken zwischen den Zementpartikeln und führen so zu einem sehr schnellen Erstarren.

Durch den sulfathaltigen Abbinderegler, der dem Zementklinker bei der Mahlung zugegeben wird, verhindert man die primäre Bildung von Tetracalciumaluminathydrat. Das C_3A bildet dann, wie bereits dargestellt, unmittelbar nach dem Kontakt mit dem Anmachwasser das Trisulfat bzw. den Ettringit. Warum diese sofortige Ettringitbildung das zu rasche Erstarren so wirksam verhindert, ist heute noch nicht vollständig geklärt.

Eine oft postulierte Theorie geht davon aus, dass der nadelige Ettringit auf den Klinkerkörnern eine dichte Schicht ausbildet, die zunächst den weiteren Wasserzutritt zum Korn verhindert und somit das Erstarren abbremst. Erst wenn diese Schicht durch den Druck, den die voluminösen Ettringitkristalle selbst entwickeln, abgesprengt wird, kann die Hydratation weiter vorangehen.

1.2.5 Hydratationswärme

Die Umwandlung der Klinkermineralien in entsprechende Hydrate stellt einen exothermen Vorgang dar. Dies bedeutet, dass Wärme freigesetzt wird. Die Hydratationswärme eines Zementes setzt sich aus der Reaktionswärme der Klinkermineralien und deren Anteil im Zement zusammen. Die Hydratationswärme der Zemente wird i. Allg. mit dem Lösungskalorimeter nach DIN EN 196-8 bestimmt.

Hydratationswärme der einzelnen Klinkerphasen und deren Anteil im Portlandzementklinker

Phase	Wärme in J/g	Anteil in %		
		min.	mittel	max.
C ₃ S	500	45	63	80
C ₂ S	250	0	16	32
C ₃ A	1.340	7	11	15
C ₂ (A,F)	420	4	8	14

Die technische Bedeutung der Hydratationswärme besteht darin, dass sie die Temperatur des Betons erhöht. Dieser Sachverhalt kann bei Bauteilen üblicher Abmessungen, die in der kalten Jahreszeit betoniert werden, durchaus von Vorteil sein. Zemente, die dabei in der Anfangsphase ihrer Hydratation viel Wärme entwickeln, verhindern ein Durchfrieren des jungen Betons vor dem Erreichen der in der Norm festgelegten Mindestdruckfestigkeit.

Bei dickwandigen Konstruktionen stellt jedoch die Hydratationswärme häufig ein Problem dar. Der starke Temperaturanstieg im Kern dieser Bauteile führt zunächst dazu, dass zwischen dem wärmeren Kern und der kälteren Schale Druckspannungen entstehen, denen der junge Beton jedoch durch plastische Verformung nachgeben kann. Die Gefahr einer Rissbildung besteht bei diesem Vorgang nicht. Im Laufe der Zeit erfolgt jedoch auch bei den massivsten Bauwerken eine Abkühlung des Bauwerksinneren infolge des Temperatenausgleichs mit den äußeren

Schichten. Die Folge ist eine Kontraktion des Bauwerkskerns und damit verbunden entsprechende Zugspannungen. Da der Beton nur relativ geringe Zugspannungen aufnehmen kann, führt dies i. Allg. zu sogenannten Spaltrissen. Neben einer Reihe betontechnologischer Maßnahmen sollten deshalb für diese Konstruktionen Zemente mit niedriger Hydratationswärme (LH-Zemente) zum Einsatz kommen.

1.2.6 Aufbau des Zementsteines

Viele Eigenschaften des Betons lassen sich über den Aufbau des Zementsteines erklären. Neben den Hydratationsprodukten, auf die im Abschnitt 1.2.4 schon eingegangen wurde, spielen für die Festigkeit und Dichtigkeit eines Betons insbesondere die Porenverhältnisse im Zementstein eine wesentliche Rolle. Dabei ist nicht so sehr der Gesamtporenraum von Bedeutung, sondern vielmehr die Porengröße.

Aufgrund der vielfältigen Hydratationsvorgänge umfasst die Porosität des Zementsteines einen fast unvorstellbaren Porengrößenbereich. Während die kleinsten Poren weit unterhalb von 1 nm liegen, können andererseits sichtbare Poren von mehreren mm Durchmesser auftreten. Das Verhältnis der kleinsten Pore zur größten Pore entspricht demnach ca. 1:10 Millionen.

Die sehr unterschiedlichen Porengrößen im Zementstein lassen sich mit der Entstehungsgeschichte der verschiedenen Porenarten erklären. Die größten Poren im Zementstein stellen die sogenannten Verdichtungsporen dar. Sie werden beim Anmachen des Zementes in den Zementleim eingeführt und können durch die nachfolgende Verdichtung nie vollkommen ausgetrieben werden. Die Verdichtungsporen sind teilweise mit bloßem Auge zu erkennen und liegen im Größenbereich zwischen 1 µm und mehreren Millimetern. Durch die Hydratation wird der Gehalt an Verdichtungsporen im Zementstein kaum beeinflusst. Wesentlich ist jedoch die Konsistenz der Mischung. Je verdichtungswilliger der Beton ist, umso geringer wird der Gehalt an Verdichtungsporen sein. Steifere Mischungen zeigen daher i. d. R. einen größeren Verdichtungs-porengehalt als weichere Mischungen.

Die erläuterten Verdichtungsporen dürfen nicht mit den künstlichen Luftporen verwechselt werden, die in den Beton zusätzlich zur Erhöhung des Frost-Taumittel-Widerstandes eingeführt werden und deren Durchmesser meist unterhalb 300 μm liegen.

Der nächstfolgende Porengrößenbereich umfasst die sogenannten Kapillarporen. Die Kapillarporen entstehen durch überschüssiges Wasser, welches weder chemisch in die Hydratationsprodukte eingebaut noch von den C-S-H-Phasen physikalisch gebunden wird.

Kapillarporen treten in der Größenordnung zwischen 10 nm und 100 μm auf, wobei meist im Bereich < 100 nm ein deutliches Maximum erkennbar ist. Im Gegensatz zu den Luftporen verändert sich der Kapillarporenraum mit fortschreitender Hydratation erheblich. Die neu entstehenden Hydratationsprodukte binden zunehmend Anmachwasser (chemisch und physikalisch) und nehmen dessen Platz ein. Der Kapillarporenanteil wird dadurch reduziert.

Die kleinsten Poren im Zementstein sind Bestandteil des Zementgels bzw. der C-S-H-Phasen und werden deshalb als Gelporen bezeichnet. Da sie Bestandteil eines Hydratationsproduktes sind, nimmt ihr Anteil folgerichtig mit fortschreitender Hydratation zu. Gelporen sind meist kleiner als 10 nm.

Eine weitere Porenart, die sogenannten Schrumpfporen, nehmen bezüglich ihrer Porengröße eine Zwischenstellung zwischen Kapillar- und Gelporen ein. Ihre Größenordnung liegt bei ca. 10 nm. Grund für die Entstehung von Schrumpfporen ist die Tatsache, dass das Volumen der Hydratationsprodukte kleiner ist als das Volumen Wasser + Zement, so dass sich bei unveränderten äußeren Abmessungen Hohlräume bilden.

Jede Porenart kann ganz bestimmte Eigenschaften des Zementsteines bzw. des Betons beeinflussen. Große Luftporen, insbesondere die künstlich eingeführten Luftporen, können bei einer Frostbeanspruchung als

zusätzlicher Ausdehnungsraum für gefrierendes Wasser dienen und so den Frost- und Frost-Taumittel-Widerstand des Betons erhöhen. Des Weiteren können sie die Kapillaren unterbrechen und somit über den geringeren Sättigungsgrad des Betons ebenfalls den Widerstand des Betons gegenüber einer Befrostung positiv beeinflussen.

Das Verhältnis von Kapillar- und Gelporen ist bei gleicher Zementart ein Indiz für den Hydratationsfortschritt und somit auch für die erreichte Festigkeit. Viele Gel- und wenige Kapillarporen zeugen beispielsweise von einer weit fortgeschrittenen Hydratation und somit einer hohen Festigkeit.

Die Kapillarporen stellen darüber hinaus den Porenbereich dar, über den praktisch alle Transportmechanismen in den Zementstein und aus dem Zementstein heraus stattfinden. Für die Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit eines Betons ist somit die Minimierung des Kapillarporenanteils oberstes Gebot.

Die Gelporen sind offensichtlich hauptverantwortlich für Schrumpf- und Quellvorgänge im Beton. Man nimmt heute an, dass diese Vorgänge durch das Ein- und Austreten von Gelwasser hervorgerufen werden.

Da die Kapillarporen einen überaus großen Einfluss auf die wichtigsten Festbetoneigenschaften ausüben, stellt die Minimierung des Kapillarporenraums eine wichtige betontechnologische Aufgabenstellung dar. Der Kapillarporenanteil an der Gesamtporosität hängt im Wesentlichen vom w/z-Wert, vom Hydratationsgrad und von der Zementart ab.

In grober Näherung kann davon ausgegangen werden, dass bei vollständiger Zementhydratation (Hydratationsgrad = 100 %) der Anteil an chemisch gebundenem Wasser bezogen auf den nichthydratisierten Zement 25 % und der des physikalisch gebundenen Wassers 15 % beträgt. Bei einem w/z-Wert von 0,40 liegt somit nach Abschluss der Hydratation das gesamte Anmachwasser in gebundener Form vor, so dass theoretisch

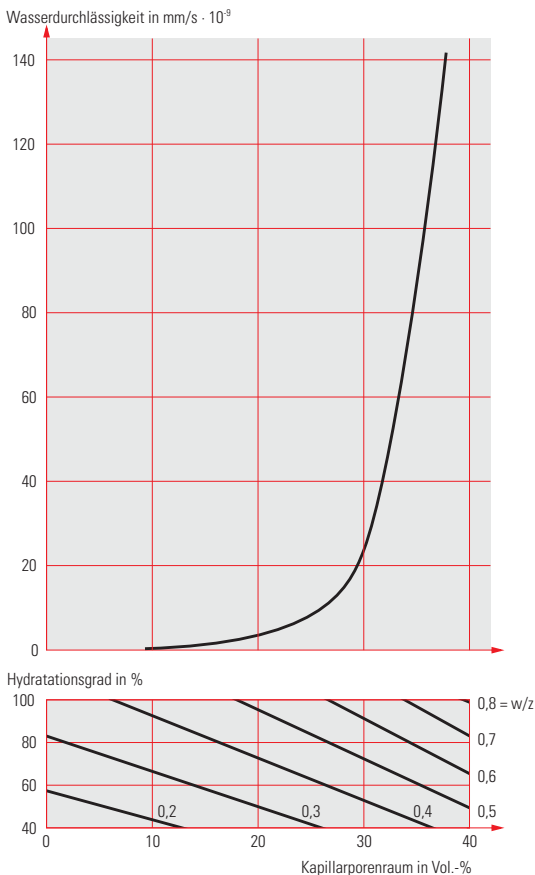
keine Kapillarporen im Zementstein vorhanden wären. Bei niedrigeren w/z-Werten würden ebenfalls keine Kapillarporen auftreten, jedoch liegt dann ein Teil des Zementes auch bei 100 %iger Hydratation in nichthydratisierter Form vor. Höhere w/z-Werte als 0,40 führen aufgrund des Anmachwasserüberschusses immer zu einem mehr oder weniger ausgeprägten Kapillarporenraum.

Unter praktischen Bedingungen im Beton ist ein Kapillarporenraum selbst bei niedrigen w/z-Werten nicht zu vermeiden, da auch nach sehr langer Erhärtungszeit der Zement nicht vollständig abgebunden hat und somit immer Hydratationsgrade $< 100\%$ vorliegen. Die Vorstellung vom kapillarporenfreien Beton ist demnach nicht zu realisieren. Dennoch kann in der Praxis ein dichter Beton hergestellt werden, wenn verhindert wird, dass ein Kapillarporenanteil von 25 % überschritten wird. Unterhalb dieses Wertes sind die Kapillarporen nicht untereinander verbunden (Diskontinuität) – die Wasserdurchlässigkeit des Betons ist sehr gering. Oberhalb dieser 25 % stehen die Kapillarporen untereinander in Verbindung (Kontinuität) und die Wasserdurchlässigkeit steigt stark an. Der Sachverhalt ist auf der nebenstehenden Abbildung dargestellt.

Um unterhalb der 25 % Kapillarporenanteil zu bleiben, darf der w/z-Wert bei vollständiger Hydratation 0,60 nicht übersteigen. Geht man von praxisnahen Hydratationsbedingungen aus, liegt der Hydratationsgrad jedoch auch bei guter Nachbehandlung für Betone mit Portlandzementen bei nur ca. 75 - 80 %. Um eine Kontinuität des Kapillarporensystems zu verhindern, darf deshalb wie in der nebenstehenden Abbildung der w/z-Wert nicht größer als 0,50 sein.

Neben dem w/z-Wert und dem Hydratationsgrad, der stark von der Nachbehandlung des Betons abhängt, hat der Betontechnologe auch über die Wahl der Zementart die Möglichkeit, das Porensystem zu beeinflussen. Betone mit Hochofenzement zeigen beispielsweise bei entsprechender Nachbehandlung gegenüber Betonen mit Portlandzement ein dichteres Gefüge mit höherem Gel- und geringerem Kapillarporenanteil.

Wasserundurchlässigkeit von Zementstein in Abhängigkeit vom Kapillarporenraum, Wasser-Zement-Wert und Hydratationsgrad nach Powers und Locher/Wischers.



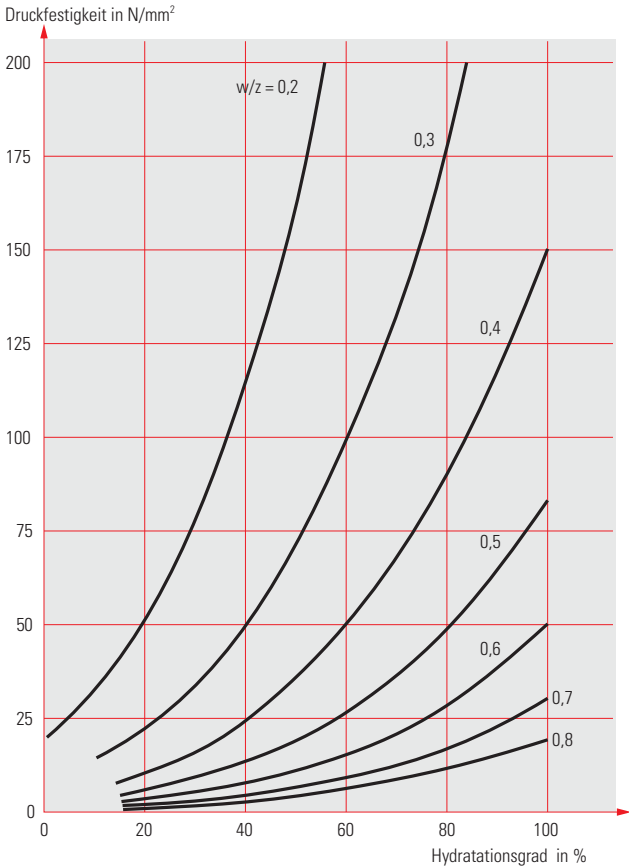
1.2.7 Eigenschaften des Zementsteines

Für baupraktische Belange spielt die **Festigkeit** des Zementsteines bzw. des Betons eine überragende Rolle. Beeinflusst wird sie neben äußeren Faktoren, wie Feuchtigkeit und Temperatur, im Wesentlichen durch die chemische Zusammensetzung des Zementes, die Mahlfeinheit des Zementes und den w/z-Wert bzw. die Porosität des Zementsteines.

Gegenüber der **Porosität** sind andere Festigkeitseinflüsse von geringer Bedeutung. Die Porosität ist die entscheidende Größe. Viele andere Größen, wie Wassergehalt, Verdichtungsgrad, Alter des Zementsteines oder auch die Nachbehandlung wirken sich nur deshalb auf die Festigkeit aus, weil sie Porosität und Porengrößenverteilung des Zementsteines beeinflussen. Wie im Abschnitt 1.2.6 gezeigt wurde, hängen die Porenverhältnisse im Zementstein im Wesentlichen vom w/z-Wert und vom Hydratationsgrad ab. Der Einfluss dieser beiden Größen, die stellvertretend für eine definierte Porosität stehen, auf die Festigkeit des Zementsteines ist auf nebenstehender Abbildung dargestellt. Die höhere Festigkeit, die sich mit abnehmendem w/z-Wert und zunehmendem Hydratationsgrad dabei ergibt, ist in erster Linie auf die Zunahme der Gelmasse und die Abnahme der Kapillarporosität zurückzuführen.

Der unmittelbare Zusammenhang zwischen Porosität, ausgedrückt als w/z-Wert, und Festigkeit bildet die Grundlage für die Projektierung von Betonen, die bestimmten Festigkeitsbereichen entsprechen sollen. Dabei wird die Regel vom w/z-Wert genutzt, wonach der Abfall der Festigkeit mit steigendem w/z-Wert einer logarithmischen Funktion entspricht.

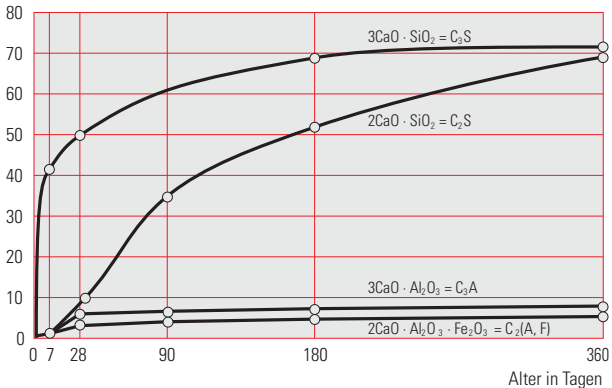
Einfluss des Wasser-Zement-Wertes und des Hydratationsgrades auf die Druckfestigkeit von Zementstein nach Locher.



Auf den Einfluss der **Klinkerzusammensetzung** wurde bereits kurz im Abschnitt 1.2.3 eingegangen. Den entscheidenden Festigkeitsbeitrag liefern mit Sicherheit die beiden silicatischen Klinkerphasen C_3S und C_2S , wobei weniger die Endfestigkeit vom Verhältnis beider Phasen beeinflusst wird als vielmehr die Festigkeitsentwicklung. Das C_3S erreicht relativ schnell hohe Festigkeiten, während das C_2S anfänglich nur einen geringen Festigkeitsbeitrag liefert. Nach ca. einem Jahr hat sich dieser Unterschied jedoch ausgeglichen, so dass dann beide Phasen etwa gleiche Festigkeit zeigen (siehe untenstehende Abbildung).

Druckfestigkeitsentwicklung der Klinkermineralien nach Bogue.

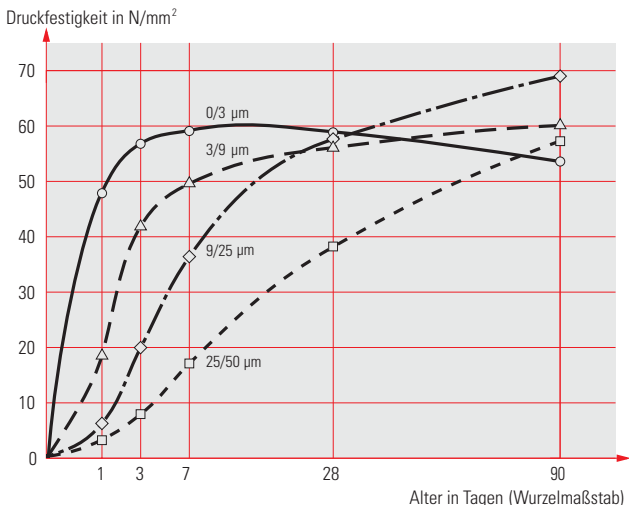
Druckfestigkeit in N/mm^2



Das $C_2(A,F)$ trägt offensichtlich nur sehr wenig zur Gesamtfestigkeit bei. Umstritten ist der Festigkeitsbeitrag des C_3A . Zumindest für die Frühfestigkeit scheint auch diese Klinkerphase von Bedeutung zu sein.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung üben auch die **Mahlfeinheit** und die **Korngrößenverteilung** des Zementes aus. Die Mahlfeinheit der Zemente wird als spezifische Oberfläche in cm^2/g angegeben und mit Hilfe der Luftdurchlässigkeit einer verdichteten Zementprobe im Blainegerät bestimmt. Die Korngrößenverteilung wird mittels Lasergranulometer erfasst. Der Einfluss der einzelnen Kornfraktionen auf die Festigkeit ist auf untenstehender Abbildung dargestellt.

Festigkeitsentwicklung einzelner Zementkorngruppen nach Locher et al.



Es ist erkennbar, dass die feinen Kornfraktionen sich stark auf die Anfangsfestigkeit auswirken. Größere Fraktionen hingegen bewirken im späteren Alter erhebliche Festigkeitszuwächse. Obwohl es sich bei der spezifischen Oberfläche nach Blaine um einen integralen Wert handelt, hinter dem sich sehr verschiedene Korngrößenverteilungen verbergen

können, ist es doch i.d.R. so, dass eine höhere spezifische Oberfläche auch mit einem Anstieg der feinen Kornfraktionen verbunden ist.

Aus diesem Grund weisen Zemente mit hoher Frühfestigkeit immer auch eine hohe spezifische Oberfläche auf.

Die Wahl der richtigen Mahlfeinheit wird immer ein Optimierungsprozess sein. Liegen zu viele grobe Kornanteile vor, senkt dies die Anfangsfestigkeit und darüber hinaus ist keine vollständige Hydratation möglich. Sind zu viele feine Kornanteile vorhanden, steigen der Wasseranspruch und das Schwinden an.

Formänderungen

Das **chemische Schwinden**, das häufig auch als Schrumpfen bezeichnet wird, ist darauf zurückzuführen, dass das Volumen der Hydratphasen kleiner ist als das der Summe der Ausgangsstoffe (Zement und Wasser). Die mit dem chemischen Schwinden verbundene Volumenabnahme spielt sich fast ausschließlich im Inneren des Zementsteines ab und ändert die äußeren Abmessungen des Betons nur unwesentlich. Als Formänderung ist es daher kaum von baupraktischer Bedeutung. Eine Rolle spielt das chemische Schwinden jedoch für den Wassergehalt des Zementsteines, da der neu entstandene Porenraum zusätzliches Wasser aufnehmen kann.

Schwinden und Quellen sind durch die Austrocknung und Befeuchtung von Zementstein hervorgerufene Vorgänge, die im Gegensatz zum chemischen Schwinden auch Einfluss auf die äußeren Dimensionen des Bauteils ausüben. Bestens bekannt sind beispielsweise die sogenannten Schwindrisse, die eindeutig auf die Verkürzung des Bauteils infolge des Schwindens zurückzuführen sind.

Die Mechanismen, die dem Schwinden und Quellen zugrunde liegen sind zur Zeit noch nicht vollständig geklärt. Die auftretenden Volumenänderungen hängen jedoch offensichtlich mit dem Einbau und dem Entzug von Wasser im System der C-S-H-Phasen zusammen.

Die durch das Schwinden auftretende Längenänderung im Zementstein kann bei erstmaliger Austrocknung bis zu -10 mm/m und bei wiederholter Austrocknung nach vorangegangener Befeuchtung bis zu -4 mm/m betragen. Die Längenänderungen, die nach Wasserlagerung infolge von Quellvorgängen auftreten, sind wesentlich geringer und liegen im Bereich von +1 mm/m. Wichtige Einflussgrößen für Schwind- und Quellvorgänge stellen der w/z-Wert, der Wassergehalt der Mischung, die Nachbehandlung und die Zementfeinheit dar.

Unter **Kriechen** versteht man die zeitabhängige Zunahme der Verformungen des Zementsteines bzw. des Betons unter Dauerlast unter Ausschluss von Schwinden und Quellen. Die Ursachen für das Kriechen scheinen komplexer Natur zu sein und sind heute noch nicht eindeutig geklärt. Es deutet einiges darauf hin, dass die lastabhängige Verdrängung des Wassers zwischen den Gelteilchen für den Vorgang eine erhebliche Rolle spielt. Da selbst dieses adsorptiv gebundene Wasser unterhalb von ca. 45 % r.F. den Zementstein verlässt, kriecht völlig ausgetrockneter Zementstein praktisch nicht. Oberhalb dieser Feuchte steigen Kriechdehnung und Kriechgeschwindigkeit stark an. Feuchter Zementstein kriecht über einen Zeitraum von mehreren Jahren. Das Kriechmaß ist dabei sowohl von Materialeigenschaften abhängig (Festigkeit, E-Modul) wie natürlich auch von der kriecherzeugenden Spannung.

Bei den durch **Treiberscheinungen** hervorgerufenen Volumenänderungen handelt es sich um Vorgänge, die durch chemische Reaktionen im Inneren des Zementsteines verursacht werden.

Im Gegensatz zu den Mechanismen wie Quellen und Schwinden, die im Zementstein unvermeidbar auftreten und sich nicht ganz verhindern lassen, soll ein Treiben des Zementsteines ausgeschlossen werden, d.h. es wird eine Raumbeständigkeit gefordert.

Die wichtigsten Treiberscheinungen und deren Ursache sind in der untenstehenden Tabelle angegeben.

Wichtige Treiberscheinungen und deren Ursache

Treiberscheinung	Reaktionsursache	Treibprodukt	Beeinflussung
Kalktreiben	freies CaO	Calciumhydroxid	<ul style="list-style-type: none"> • Gehalt an freiem CaO im Zement • Mahlfineinheit
Magnesiatreiben	freies MgO	Magnesiumhydroxid	<ul style="list-style-type: none"> • Gehalt an freiem MgO im Zement • Mahlfineinheit
Gipstreiben	überschüssiger Abbinderegler	Gips	<ul style="list-style-type: none"> • Abstimmung Zement/Abbinderegler
Alkalitreiben	alkaliempfindliche Gesteinskörnung	Alkalisilicatgel	<ul style="list-style-type: none"> • NA-Zement • Austausch Gesteinskörnung

Um Treiberscheinungen durch freies CaO, freies MgO oder überschüssigen Abbinderegler auszuschließen, wurden in DIN EN 197-1 entsprechende Grenzwerte festgelegt. Durch die kontinuierliche Kontrolle des Produktionsprozesses und die Fremdüberwachung der Zemente ist gewährleistet, dass bei Normzementen die angesprochenen Treiberscheinungen nicht auftreten können.

1.2.8 Hauptbestandteile von Zement

Neben dem klassischen Portlandzement (CEM I) können durch Zumahlung oder Mischen von geeigneten Stoffen zum Portlandzementklinker Portlandkompositzemente (CEM II), Hochofenzemente (CEM III), Puzzolan- zemente (CEM IV) oder Kompositzemente (CEM V) hergestellt werden. Diese Stoffe können Hüttensand, Puzzolane (z.B. Trass), Flugasche, gebrannter Schiefer, Kalkstein und Silicastaub sein.

■ Hüttensand (S)

Beim Schmelzen von Eisen im Hochofen fällt Hochofenschlacke an. Wird die Schlackenschmelze unmittelbar nach dem Hochofen schnell mit Wasser gekühlt, entsteht der sogenannte Hüttensand. Er stellt einen weitgehend glasigen, latent-hydraulischen Stoff dar, der bei entsprechen- der Anregung (z.B. durch alkalische Bestandteile des Zementes) hydraulische Eigenschaften entwickelt. Für den Einsatz im Zement kommen nur basische Hüttensande in Frage. Das Verhältnis $(\text{CaO} + \text{MgO}):(\text{SiO}_2)$ muss größer als 1 sein.

■ Kalkstein (L, LL)

Kalkstein in Form eines Gesteinsmehls zählt zu den inerten Stoffen, die dem Zement in erster Linie aufgrund ihrer Füllerwirkung als Brückenbild- ner zwischen den Hydratationsprodukten des Portlandzementklinkers zugegeben werden. Allerdings verhält sich feinaufgemahlener Kalkstein nicht vollkommen inert, sondern reagiert in geringem Umfang mit C_3A . Für einige Einsatzfälle kann diese Reaktion vorteilhaft sein. Nicht jeder Kalkstein kann als Zementbestandteil eingesetzt werden. Für die Zementherstellung dürfen nur solche Kalksteine verwendet werden, die bezüglich CaCO_3 -Gehalt (mind. 75 %), Tongehalt (max. 1,2 g Methylenblau pro 100 g Kalksteinmehl) und Gehalt an organischen Bestandteilen (max. 0,2 %-TOC bei LL bzw. max. 0,5 % TOC bei L) bestimmten Anforderungen genügen.

■ Flugasche (kieselsäurereich, V)

Flugasche stellt als feinkörniger, überwiegend glasiger Verbrennungsrückstand von Kohlenstaub, der bei der Abgasreinigung in Kohlekraftwerken anfällt, ein künstliches Puzzolan dar. Zur Zementherstellung in Deutschland werden bislang ausschließlich kieselsäurereiche Steinkohlenflugaschen (V) eingesetzt. Das reaktionsfähige SiO_2 dieser Aschen reagiert mit gelöstem Ca(OH)_2 aus dem Zementklinker und bildet dadurch eigene festigkeitsbildende Hydratphasen. Daraus resultiert, dass Steinkohlenflugaschen, die als Zumahlstoff eingesetzt werden sollen, einen Anteil von mindestens 25 % an reaktionsfähigem SiO_2 enthalten müssen. Eine weitere Anforderung besteht an den Gehalt an reaktionsfähigem CaO (< 10 %). Der Glühverlust von Flugasche muss in einem der folgenden Bereiche liegen:

- a) 0 bis 5 M.-%
- b) 2 bis 7 M.-%
- c) 4 bis 9 M.-%.

Anmerkung: Flugaschehaltige Zemente zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2 dürfen nur Flugaschen mit bis zu 5 M.-% Glühverlust enthalten.

■ Flugasche (kalkreich, W)

Kalkreiche Flugasche (W) fällt, ebenso wie kieselsäurereiche Flugasche (V), bei der Abgasreinigung von Kohlekraftwerken an. Kalkreiche Flugaschen können, im Gegensatz zu kieselsäurereichen Flugaschen (V) auch hydraulische Eigenschaften aufweisen. Bei diesen Flugaschen dient der Gehalt an reaktionsfähigem CaO als Qualitätskriterium. Der Massenanteil an reaktionsfähigem CaO darf i. Allg. 10 % nicht unterschreiten. Bei Gehalten zwischen 10 % und 15 % muss ein Gehalt von mindestens 25 % reaktionsfähiger Kieselsäure (SiO_2) vorhanden sein. Kalkreiche Flugaschen (W) mit mehr als 15 % reaktionsfähigem CaO müssen im nachgefeinten Zustand bei der Prüfung nach DIN EN 196-1 nach 28 Tagen eine Druckfestigkeit von mindestens 10 N/mm^2 erreichen. Ebenso muss die Raumbeständigkeit nach DIN EN 196-3 und die Einhaltung des max. Glühverlustes, analog zur kieselsäurehaltigen Flugasche, gewährleistet sein.

■ Gebrannter Schiefer (T)

Aus bituminösem kalkhaltigem Schiefer, dem sogenannten Ölschiefer, kann durch Brennen bei ca. 800 °C ein selbstständig hydraulisch erhärtendes Bindemittel hergestellt werden. Das hydraulische Erhärtungsvermögen des gebrannten Schiefers beruht vorwiegend auf dem Vorhandensein von Dicalciumsilicat und Monocalciumaluminat im Brennprodukt. Daneben tritt auch reaktionsfähiges SiO_2 auf, so dass gebrannter Schiefer neben den hydraulischen auch puzzolanische Eigenschaften aufweist. Für den Einsatz als Zuschlagstoff zum Portlandzementklinker muss der gebrannte Schiefer eine 28-Tage-Druckfestigkeit von mindestens 25 N/mm² nach DIN EN 196-1 erreichen. Des Weiteren muss das Dehnungsmaß (DIN EN 196-3) einer Mischung aus Zement und gebranntem Schiefer (Verhältnis 70 %:30 %) kleiner als 10 mm sein.

■ Puzzolane (P, Q)

Natürliche Puzzolane (P) und natürlich getemperte Puzzolane (Q) sind Stoffe mit kieselsäurehaltiger und/oder alumo-silicatischer Zusammensetzung. Trass gehört als feingemahlener Tuffstein in die Gruppe der natürlichen Puzzolane. Die wesentlichen Reaktionen dieser Puzzolane im Zement sind mit denen von natürlich getemperten Puzzolanen vergleichbar, so dass auch im Trass mindestens 25 % reaktionsfähiges SiO_2 enthalten sein muss. Darüber hinaus muss Trass, der zur Zementherstellung eingesetzt wird, den Anforderungen der Trassnorm DIN 51043 genügen. Dort werden Grenzwerte für Glühverlust (max. 12 %), Sulfatgehalt (max. 1 %), Chloridgehalt (max. 0,1 %) und Kohlendioxid (max. 7 %) festgelegt.

■ Silicastaub (D)

Silicastaub fällt bei der Ferro-Silicium-Herstellung an. Er besteht aus mindestens 85 % hochreinem, amorphem Siliciumoxid (SiO_2) mit einer Teilchengröße von ca. 0,1 µm. Der Glühverlust nach DIN EN 196-2, darf bei einer Glühzeit von 1 h, 4 M.-% nicht überschreiten. Außerdem muss die spezifische Oberfläche des Silicastaubes mindestens 15,0 m²/g betragen.

1.3 Zementnormung im Wandel der Zeit

Seit 2002 ist die EN 197-1 in allen Ländern der europäischen Union (EU) verbindlich eingeführt. Die Norm umfasst alle in Europa hergestellten Zemente, die sich in den EU-Mitgliedsstaaten unter den unterschiedlichen Klima- und Anwendungsbedingungen unter dem Gesichtspunkt der Dauer-Europäische Regelungen für Zement

Norm	Ausgabe	Zement/Bindemittel	
DIN EN 197-1	11/2011	Normalzement, Normalzement mit niedriger Hydratationswärme	
		Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand	
		Normalzement mit niedriger Anfangsfestigkeit	
DIN EN 14216	08/2004	Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme	

Nationale Regelungen für Zement

Norm	Ausgabe	Zement/Bindemittel	
DIN 1164-10	Schlussfassung, Veröffentlichung 2013	Normalzement mit besonderen Eigenschaften	
DIN 1164-11	11/2003	Zement mit verkürztem Erstarren	
DIN 1164-12	06/2005	Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen	

haftigkeit bewährt haben. Dazu gehören 27 Normalzemente und verschiedene Normalzemente mit besonderen Eigenschaften. In Deutschland sind Zemente mit besonderen Eigenschaften in den Teilen 10 bis 12 der DIN 1164 geregelt. Zemente nach DIN 1164 erfüllen alle Anforderungen nach DIN EN 197-1 und beinhalten darüber hinaus zusätzliche Anforderungen.

Anzahl	Bindemittel-Bezeichnung	Festigkeitsklassen	Zusätzliche Klassen
27	CEM I CEM II CEM III CEM IV CEM V	32,5 N/R 42,5 N/R 52,5 N/R	LH (≤ 270 J/g)
7	CEM I	32,5 L/N/R 42,5 L/N/R 52,5 L/N/R	SR 0 SR 3 SR 5
	CEM III; CEM IV		SR
3	CEM III	32,5 L 42,5 L 52,5 L	LH (≤ 270 J/g), SR
6	VLH III/B u. /C VLH IV VLH V	22,5	VLH (≤ 220 J/g)

Anzahl	Bindemittel-Bezeichnung	Festigkeitsklassen	Zusätzliche Klassen
27	CEM I CEM II CEM III CEM IV CEM V	32,5 N/R 42,5 N/R 52,5 N/R	NA (niedriger wirksamer Alkaligehalt)
			FE (frühes Erstarren) SE (schnellerstarrend)
			HO (erhöhter Anteil an organischen Zusätzen)

1.3.1 DIN EN 197-1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien für Normalzement

Die DIN EN 197-1 bildet die Grundlage für die Bezeichnungen und Anforderungen der weiteren europäischen und nationalen Zementnormen. In dieser Norm sind 27 Normalzemente aufgeführt. Die Kennzeichnung erfolgt mit dem CE-Konformitätszeichen. Die wesentlichen Merkmale werden nachfolgend beschrieben:

■ Zementarten:

Die DIN EN 197-1 enthält fünf Hauptzementarten:

- CEM I Portlandzement
- CEM II Portlandkompositzement
- CEM III Hochofenzement
- CEM IV Puzzolanzement
- CEM V Kompositzement

■ Hauptbestandteile:

Die Hauptbestandteile der Zemente sind mit folgenden Buchstaben gekennzeichnet:

- **K** = Portlandzementklinker
- **S** = Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke)
- **D** = Silicastaub

■ Puzzolane:

- **P** = natürliches Puzzolan (z.B. Trass)
- **Q** = natürliches getempertes Puzzolan

■ Flugasche:

- **V** = kieselsäurereiche Flugasche
- **W** = kalkreiche Flugasche
- **T** = gebrannter Schiefer

■ Kalkstein:

- **L** = mit Gesamtgehalt TOC
Masseanteil $\leq 0,5$ %
- **LL** = mit Gesamtgehalt TOC
Masseanteil $\leq 0,2$ %

■ Zusammensetzung:

Die Buchstaben **A**, **B** und **C** geben Aufschluss über den prozentualen Anteil an den Hauptbestandteilen.

1.3.1.2 Die 27 Produkte der Familie der Normalzemente nach DIN EN 197-1:2011

Bezeichnung, Zusammensetzung, Hauptbestandteile

Die 27 Produkte der					
Haupt- zement- arten	Bezeichnung der 27 Produkte (Normalzementarten)				
			Portland- zement- klinker	Hütten- sand	Silica- staub
			K	S	D ²⁾
CEM I	Portland- zement	CEM I	95 – 100	–	–
CEM II	Portland- hütten- zement	CEM II/A-S	80 – 94	6 – 20	–
		CEM II/B-S	65 – 79	21 – 35	–
	Portland- silicastaub- zement	CEM II/A-D	90 – 94	–	6 – 10
	Portland- puzzolan- zement	CEM II/A-P	80 – 94	–	–
		CEM II/B-P	65 – 79	–	–
		CEM II/A-Q	80 – 94	–	–
		CEM II/B-Q	65 – 79	–	–
	Portland- flugasche- zement	CEM II/A-V	80 – 94	–	–
		CEM II/B-V	65 – 79	–	–
		CEM II/A-W	80 – 94	–	–
		CEM II/B-W	65 – 79	–	–
	Portland- schiefer- zement	CEM II/A-T	80 – 94	–	–
		CEM II/B-T	65 – 79	–	–

Fortsetzung S. 56/57

Familie der Normalzemente								
Zusammensetzung: (Massenanteile in Prozent) ¹⁾								
Hauptbestandteile								
	Puzzolane		Flugasche		Ge- brannter Schiefer	Kalkstein		Neben- bestand- teile
	natürlich	natürlich getem- pert	kiesel- säure- reich	kalkreich		L	LL	
	P	Q	V	W	T			
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	6 – 20 21 – 35	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	6 – 20 21 – 35	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	6 – 20 21 – 35	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	6 – 20 21 – 35	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	6 – 20 21 – 35	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5

1.3.1.2 Die 27 Produkte der Familie der Normalzemente nach DIN EN 197-1:2011

Bezeichnung, Zusammensetzung, Hauptbestandteile

Die 27 Produkte der					
Haupt- zement- arten	Bezeichnung der 27 Produkte (Normalzementarten)				
			Portland- zement- klinker	Hütten- sand	Silica- staub
			K	S	D ²⁾
CEM II	Portland- kalkstein- zement	CEM II/A-L	80 – 94	–	–
		CEM II/B-L	65 – 79	–	–
		CEM II/A-LL	80 – 94	–	–
		CEM II/B-LL	65 – 79	–	–
	Portland- komposit- zement ³⁾	CEM II/A-M	80 – 88	←	←
		CEM II/B-M	65 – 79	←	←
CEM III	Hochofen- zement	CEM III/A	35 – 64	36 – 65	–
		CEM III/B	20 – 34	66 – 80	–
		CEM III/C	5 – 19	81 – 95	–
CEM IV	Puzzolan- zement ³⁾	CEM IV/A	65 – 89	–	←
		CEM IV/B	45 – 64	–	←
CEM V	Komposit- zement ³⁾	CEM V/A	40 – 64	18 – 30	–
		CEM V/B	20 – 38	31 – 49	–

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

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

Familie der Normalzemente								
Zusammensetzung: (Massenanteile in Prozent) ¹⁾								
Hauptbestandteile								
	Puzzolane		Flugasche		Ge- brannter Schiefer	Kalkstein		Neben- bestand- teile
	natürlich	natürlich getem- pert	kiesel- säure- reich	kalkreich		L	LL	
	P	Q	V	W	T	L	LL	
	–	–	–	–	–	6 – 20	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	21 – 35	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	6 – 20	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	21 – 35	0 – 5
.....			12 – 20→				0 – 5
.....			21 – 35→				0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
	–	–	–	–	–	–	–	0 – 5
.....		11 – 35→		–	–	–	0 – 5
.....		36 – 55→		–	–	–	0 – 5
	←.....	18 – 30→	–	–	–	–	0 – 5
	←.....	31 – 49→	–	–	–	–	0 – 5

1.3.1.3 Festigkeitsklassen

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

¹⁾ Die Festigkeitsklasse gilt nur für CEM III-Zemente.

1.3.1.4 Erstarren

Die Vorstufe der Erhärtung des Zementes ist das Erstarren. Damit eine ausreichende Verarbeitungszeit für den Beton zur Verfügung steht, darf das Erstarren der genormten Zemente der Festigkeitsklassen 32,5 frühestens nach 75 Minuten, der Festigkeitsklasse 42,5 frühestens nach 60 Minuten und für die Festigkeitsklasse 52,5 frühestens nach 45 Minuten eintreten. Der Erstarrungsbeginn wird nach DIN EN 196, Teil 3 mit dem Nadelgerät nach Vicat am Zementleim bestimmt.

1.3.1.5 Erhärten

Das Erhärtungsvermögen des Zementes ist seine wichtigste bautechnische Eigenschaft. Für das Erhärten ist in erster Linie die Hydratation des schnell reagierenden C₃S und des langsamer reagierenden C₂S verantwortlich.

1.3.1.6 Raumbeständigkeit

Die Voraussetzung für die Herstellung eines dauerhaften Betons ist die Raumbeständigkeit der verwendeten Zemente. Zement gilt als raumbeständig, wenn er im Le-Chatelier-Versuch (DIN EN 196, Teil 3) eine Dehnung von 10 mm nicht überschreitet.

1.3.1.7 Mahlfeinheit

An die Mahlfeinheit des Zementes wird in DIN EN 197-1 keine Anforderung gestellt. Die Bestimmung der spezifischen Oberfläche (Blaine-Wert) mittels des Luftdurchlässigkeitsverfahrens dient der Kontrolle der Gleichmäßigkeit der Mahlung im Werk. Zur Beurteilung der Anwendungseigenschaften des Zementes hat dieses Verfahren an Bedeutung verloren. Wesentlich aussagekräftiger ist die Kornverteilung.

1.3.1.8 Hydratationswärme

Die Hydratation des Zementes ist ein exothermer Vorgang, bei dem Wärme umso schneller freigesetzt wird, je feiner die Mahlung des Zementes ist. Zemente, die eine niedrige Hydratationswärme aufweisen, sind bei massigen Bauteilen vorteilhaft, da sie eine geringere Wärmeausdehnung hervorrufen. Zemente mit hoher Hydratationswärme werden für Betone mit hoher Frühfestigkeit und zum Betonieren bei kühler Witterung verwendet.

Anhaltswerte der Hydratationswärme verschiedener Zemente

Festigkeits- klasse	Festigkeits- und Wärme- entwicklung	Hydratationswärme in J/g bei 18-21°C gemessen im Lösungskalorimeter im Alter von Tagen			
		1	3	7	28
32,5 N	langsam	60 – 175	125 – 250	150 – 300	200 – 375
32,5 R 42,5 N	normal	125 – 200	200 – 335	275 – 375	300 – 425
42,5 R 52,5 N 52,5 R	schnell	200 – 275	300 – 350	325 – 375	375 – 425

Die Hydratationswärme von Normalzementen mit niedriger Hydratationswärme darf den charakterischen Wert 270 J/g nicht überschreiten. Die Hydratationswärme ist entweder nach 7 Tagen nach DIN EN 196-8 oder nach 41 Stunden nach DIN EN 196-9 zu bestimmen. Normalzemente mit niedriger Hydratationswärme werden nach DIN EN 197-1 durch das Kurzzeichen LH gekennzeichnet.

1.3.1.9 Zementtemperatur

Erhöhte Zementtemperaturen in Zeiten großen Verbrauchs sind nicht zu vermeiden. Der Einfluss der Zementtemperatur auf die Frischbetontemperatur wird jedoch überschätzt. Der Gewichtsanteil der Gesteinskörnung ist bei Normalbeton mehr als sechsmal so groß und die spezifische Wärme des Wassers ca. fünfmal so groß wie die des Zementes. Eine 10 K höhere Zementtemperatur bewirkt daher bei einem Zementgehalt von 300 kg/m³ Beton eine um nur 1 K höhere Frischbetontemperatur.

1.3.1.10 Schwinden

Als Schwinden bezeichnet man die Verkürzung von Zementstein, Mörtel und Beton durch Austrocknen. Je höher der Wassergehalt und/oder Zementgehalt, desto größer ist das Schwinden. Das Schwindmaß für Normalbeton beträgt im Regelfall bis zu 0,5 mm/m.

1.3.1.11 Dichte und Schüttdichte

Die Reindichte des Zementes liegt bei 3,0 kg/dm³. Die Dichte des Zementes ist je nach Zusammensetzung unterschiedlich. Folgende Rein- und Schüttdichten können für die genannten Zemente angenommen werden:

Zementart	Dichte kg/dm ³	Schüttdichte kg/dm ³	
		eingelaufen	engerüttelt
Portlandzement	3,1	0,9 – 1,1	1,2 – 1,8
Portlandhüttenzement	3,05		
Portlandkalksteinzement	3,05		
Hochofenzement	3,0		
Puzzolanzement	2,9		

1.3.1.12 Farbe

Die Zementfarbe hängt von den verwendeten Rohstoffen, dem Herstellverfahren und der Mahlfeinheit ab. Die Zementfarbe lässt keine Rückschlüsse auf die Eigenschaften zu. Die Farbe des Betons wird weitgehend von der Farbe der Feinteile der Zuschlagstoffe und der Zusatzstoffe sowie der Höhe des Wassergehaltes beeinflusst.

1.3.2 Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand nach DIN EN 197-1:2011

Zusammensetzung und Bezeichnung von Normalzementen mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zemente).

In der DIN EN 197-1 sind 7 Produkte der Familie der Normalzemente mit hohem Sulfatwiderstand aufgeführt. Zur Familie zählen die Hauptzementarten Portlandzement (CEM I), Hochofenzement (CEM III) und Puzzolanzement (CEM IV).

Die 7 Produkte der				
Hauptarten	Bezeichnung der 7 Produkte (Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand)		Klinker	
			K	
CEM I	Portlandzement mit hohem Sulfatwiderstand	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5	95 – 100	
CEM III	Hochofenzement mit hohem Sulfatwiderstand	CEM III/B-SR	20 – 34	
		CEM III/C-SR	5 – 19	
CEM IV	Puzzolanzement mit hohem Sulfatwiderstand ²⁾	CEM IV/A-SR	65 – 79	
		CEM IV/B-SR	45 – 64	

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

²⁾ Für Puzzolanzemente mit hohem Sulfatwiderstand, d.h. Zementarten CEM IV/A-SR und CEM IV/B-SR, sind neben Klinker die Hauptbestandteile in der Bezeichnung der Zementart anzugeben.

Die Bezeichnung der Zementart muss den in der DIN EN 197-1 festgelegten Anforderungen entsprechen und die zusätzlichen Angabe SR 0, SR 3, SR 5 für CEM I-Zement und nur „SR“ für die CEM III- und CEM IV-Zemente enthalten.

Familie der Normalzemente mit hohem Sulfatwiderstand				
Zusammensetzung: (Massenanteile in Prozent) ¹⁾				
Hauptbestandteile				
	Hüttensand	Puzzolane, natürlich	Flugasche, kieselsäure- reich	Neben- bestandteile
	S	P	V	
	–	–	–	0 – 5
	66 – 80	–	–	0 – 5
	81 – 95			
		↔ 21 – 35 ↔		0 – 5
		↔ 36 – 55 ↔		

Zusätzliche Anforderungen an Normalzemente mit hohem Sulfatwiderstand, definiert als charakterische Werte.

Eigenschaft	Prüfung nach	Zementart	Festigkeitsklasse	Anforderungen ¹⁾
Sulfatgehalt (als SO ₃)	EN 196-2	CEM I-SR 0	32,5 N	≤ 3,0 %
		CEM I-SR 3	32,5 R	
		CEM I-SR 5 ²⁾	42,5 N	
		CEM IV/A-SR	42,5 R	≤ 3,5 %
		CEM IV/B-SR	52,5 N	
			52,5 R	
C ₃ A im Klinker ³⁾	EN 196-2 ⁴⁾	CEM I-SR 0	alle	= 0 %
		CEM I-SR 3		≤ 3,0 %
		CEM I-SR 5		≤ 5,0 %
	— ⁵⁾	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR		≤ 9,0 %
Puzzolanität	EN 196-5	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	alle	muss die Prüfung nach 8 Tagen bestehen

¹⁾ Die Anforderungen sind als Massenanteil in Prozent des fertigen Zementes oder des Klinkers angegeben, wie in der Tabelle festgelegt.

²⁾ Für bestimmte Anwendungen darf die Zementart CEM I-SR 5 mit einem höheren Sulfatgehalt hergestellt werden. In diesem Fall ist der Wert für den höheren Sulfatgehalt im Lieferschein anzugeben.

³⁾ Das Prüfverfahren zur Bestimmung des C₃A-Gehaltes im Klinker anhand einer Analyse des fertigen Zementes wird zurzeit von CEN/TC 51 erarbeitet.

⁴⁾ Im besonderen Fall von CEM I darf der C₃A-Gehalt des Klinkers anhand einer chemischen Analyse des Zementes berechnet werden. Der C₃A-Gehalt ist mit der folgenden Gleichung zu berechnen: $C_3A = 2,65 A - 1,69 F$

⁵⁾ Bis zur Fertigstellung des Prüfverfahren ist der C₃A-Gehalt von Klinker auf der Grundlage der Analyse des Klinkers als Teil der werkseigenen Produktionskontrolle des Herstellers zu bestimmen (EN 197-2:2000, 4.2.1.2).

Beispiel für Normbezeichnung

Bezeichnung eines Portlandzementes nach EN 197-1 der Festigkeitsklasse 42,5 mit hoher Anfangsfestigkeit und hohem Sulfatwiderstand sowie mit einem Massenanteil an C_3A im Klinker $\leq 3,0$ %:

Portlandzement EN 197-1 – CEM I 42,5 R-SR 3

1.3.3 Bezeichnung und Zusammensetzung von Normalzement mit niedriger Anfangsfestigkeit nach DIN EN 197-1:2011

Normalzement mit niedriger Anfangsfestigkeit sind CEM III-Zemente (3 Produkte). Sie unterscheiden sich von den anderen Normalzementen hinsichtlich der Anforderungen an die Anfangsfestigkeit. Normalzemente mit niedriger Anfangsfestigkeit sind bei der Festigkeitsklasse durch **L** gekennzeichnet.

Haupt- zement- arten	Bezeichnung der drei Produkte (Normalzement mit niedriger Anfangsfestigkeit)		Zusammensetzung (Massenanteile in Prozent) ¹⁾		
			Hauptbestandteile		Neben- be- stand- teile
			Klinker K	Hüttensand S	
CEM III	Hoch- ofen- 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

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

Mechanische Anforderungen

Verweis auf: 1.3.1.3 Tabelle Festigkeitsklassen

Zemente mit niedriger Anfangsfestigkeit, die die Anforderungen für Normalzemente mit hohem Sulfatwiderstand erfüllen, können auch als SR-Zemente deklariert werden.

Beispiel für Normbezeichnung

Bezeichnung eines Hochofenzementes mit einem Massenanteil an Hütten-
sand (S) zwischen 81 % und 95 %, der Festigkeitsklasse 32,5, mit niedri-
ger Anfangsfestigkeit und hohem Sulfatwiderstand:

**Hochofenzement mit niedriger Anfangsfestigkeit
und hohem Sulfatwiderstand**

EN 197-1 – CEM III/C 32,5 L-SR

1.3.4 Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme nach DIN EN 14216

Die DIN EN 14216:2004 beschreibt die Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme. Diese europäische Norm regelt 6 verschiedene Sonderzemente für Anwendungen, bei denen die Hydratationswärme eine bedeutende Rolle spielt. Das Anwendungsgebiet ist hauptsächlich für sehr massige Bauteile gedacht.

Bezeichnung und Zusammensetzung der Sonderzemente mit sehr niedriger Hydratationswärme

Haupt- zement- arten	Bezeichnung der 6 Produkte (Sonderzemente mit sehr niedriger Hydratationswärme)		Zusammensetzung		
			Klinker	Hütten- sand	Silica- staub
			K	S	D ²⁾
VLH III	Hochofenzement	VLH III/B	20 – 34	66 – 80	–
		VLH III/C	5 – 19	81 – 95	–
VLH IV	Puzzolanzement ³⁾	VLH IV/A	65 – 89	–	←
		VLH IV/B	45 – 64	–	←
VLH V	Kompositzement ³⁾	VLH V/A	40 – 64	18 – 30	–
		VLH V/B	20 – 38	31 – 50	–

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

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

³⁾ In den Puzzolanzementen VLH IV/A und VLH IV/B und den Kompositzementen VLH V/A und VLH V/B müssen die Hauptbestandteile neben Klinker durch die Bezeichnung des Zementes angegeben werden.

(Massenanteile in Prozent)¹⁾**Hauptbestandteile****Neben-
bestand-
teile****Puzzolane****Flugasche****natürlich****natürlich
getempert****kiesel-
säurereich****kalkreich****P****Q****V****W**

—

—

—

—

0 – 5

—

—

—

—

0 – 5

11 – 35



0 – 5

36 – 55



0 – 5



18 – 30



—

0 – 5



31 – 50



—

0 – 5

Mechanische und physikalische Anforderungen

Festigkeitsklasse	Druckfestigkeit N/mm ²		Erstarrungsbeginn min	Raumbeständigkeit (Dehnungsmaß) mm
	Normfestigkeit nach 28 Tagen			
22,5	≥ 22,5	≤ 42,5	≥ 75	≤ 10

Hydratationswärme

Die Hydratationswärme von Sonderzementen mit sehr niedriger Hydratationswärme darf den charakteristischen Wert 220 J/g nicht überschreiten. Die Hydratationswärme ist entweder nach 7 Tagen nach DIN EN 196-8 oder nach 41 Stunden nach DIN EN 196-9 zu bestimmen.

Beispiel für Normbezeichnung

Bezeichnung eines Sonder-Kompositzementes mit sehr niedriger Hydratationswärme mit einem Massenanteil an Hüttensand (S) zwischen 18 % und 30 % und an kieselsäurereicher Flugasche (V) zwischen 18 % und 30 %, der Festigkeitsklasse 22,5, mit sehr niedriger Hydratationswärme:

**Sonder-Kompositzement mit sehr niedriger Hydratationswärme
EN 14216 – VLH V/A (S-V) 22,5**

1.3.5 Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164

Über die europäischen Normen hinaus, werden national die Zemente mit besonderen Eigenschaften in der DIN 1164-10, DIN 1164-11 und DIN 1164-12 geregelt. Diese charakterisieren die besonderen Anforderungen, die über die DIN EN 197-1 hinaus maßgebend sind.

1.3.5.1 Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164-10

DIN 1164-10 Schlussfassung, Veröffentlichung 2013, Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit niedrigem wirksamen Alkali-gehalt (NA-Zement).

Um die besonderen Eigenschaften dieses Zements zu gewährleisten, müssen folgende, über DIN EN 197-1 hinausgehenden Anforderungen an die Zusammensetzung erfüllt werden:

Zusätzliche Anforderungen an Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt, definiert als charakteristische Werte.

Zementart	Anforderungen ¹⁾	Prüfverfahren (Masseanteil in %)
NA-Zement		
CEM I bis CEM V	$\leq 0,60 \text{ \% Na}_2\text{O-Äquivalent}^{2)}$	DIN Fachbericht CN/TR 196-4
CEM II/B-S	$\geq 21 \text{ \% Hüttensand und}$ $\leq 0,70 \text{ \% Na}_2\text{O-Äquivalent}$	
CEM III/A	$\leq 49 \text{ \% Hüttensand und}$ $\leq 0,95 \text{ \% Na}_2\text{O-Äquivalent}$	
	$\geq 50 \text{ \% Hüttensand und}$ $\leq 1,10 \text{ \% Na}_2\text{O-Äquivalent}$	
CEM III/B	Zusammensetzung nach Tabelle 1 von DIN EN 197-1:2011-11 und $\leq 2,00 \text{ \% Na}_2\text{O-Äquivalent}$	
CEM III/C	Zusammensetzung nach Tabelle 1 von DIN EN 197-1:2011-11 und $\leq 2,00 \text{ \% Na}_2\text{O-Äquivalent}$	

¹⁾ Die Anforderungen sind als Massenanteil in Prozent des gebrauchsfähigen Zements angegeben.

²⁾ Gilt allgemein, weitere NA-Zemente siehe nachfolgende Zeilen.

Beispiel für Normbezeichnung

Bezeichnung eines Hochofenzements mit einem Massenanteil von Hüttensand zwischen 66 % und 80 %, der Festigkeitsklasse 32,5 N mit üblicher Anfangsfestigkeit und geringer Wärmeklasse LH sowie hohem Sulfatwiderstand (SR) nach DIN EN 197-1 und niedrigem wirksamen Alkaligehalt (NA) nach dieser Norm:

Hochofenzement
DIN 1164 – CEM III/B 32,5 N-LH/SR/NA

1.3.5.2 Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164-11

DIN 1164-11:2003, Zement mit besonderen Eigenschaften-Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit verkürztem Erstarren.

Diese Norm regelt zusätzliche Anforderungen an Zemente für bestimmte Anwendungsfälle, bei denen das verkürzte Erstarren, zur Erhöhung der Grünstands- oder Frühfestigkeit, gezielt eingesetzt wird. Grundsätzlich sind hier zwei Anwendungsfälle zu unterscheiden:

- Zement mit frühem Erstarren (FE-Zemente). Dieser ermöglicht bei entsprechend kurzen Herstellzeiten eine sachgerechte Herstellung und Verarbeitung des Betons nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, z. B. Fertigteilzement.
- Zement schnellerstarrend (SE-Zement). Dieser kann nur bei besonderen Herstellverfahren, z. B. Trockenspritzverfahren verwendet werden.

Zusätzliche Anforderungen an Zement mit verkürztem Erstarren

Zementart	Festigkeits- klasse	Anforderungen	Prüfverfahren
FE-Zement			
CEM I bis CEM V	32,5 N 32,5 R	Erstarrungsbeginn: ≥ 15 min und < 75 min	DIN EN 196-3
	42,5 N 42,5 R	Erstarrungsbeginn: ≥ 15 min und < 60 min	
	52,5 N 52,5 R	Erstarrungsbeginn: ≥ 15 min und < 45 min	
SE-Zement			
CEM I bis CEM V	32,5 N bis 52,5 R	Erstarrungsbeginn: ≤ 45 min Raumbeständigkeit: bestanden	DIN 1164-11, Anhang A ¹⁾

¹⁾ Bei schnellerstarrendem Zement ist im Allgemeinen der Wassergehalt bei Normsteife und die Normsteife nach DIN EN 196-3 nicht ermittelbar, weil dieser Zement beim Herstellen des Zementleims in der Regel sofort erstarrt.

Beispiel für Normbezeichnung

Bezeichnung eines Portlandzementes der Festigkeitsklasse 42,5 mit hoher Anfangsfestigkeit (R) und schnellerstarrend (SE) nach dieser Norm:

Portlandzement: DIN 1164 – CEM I 42,5 R-SE

1.3.5.3 Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen nach DIN 1164-12

DIN 1164-12:2005, Zement mit besonderen Eigenschaften – Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen.

Die Zugabe von erhöhten organischen Bestandteilen in Zementen kann erforderlich sein, um bestimmte Zementarten oder Festigkeitsklassen herzustellen.

In der alten DIN 1164-1:1994 war der Anteil an organischen Bestandteilen auf 1 M.-% beschränkt. Im Zuge der Einführung der DIN EN 197-1 wurde der Anteil an organischen Bestandteilen auf 0,5 M.-% begrenzt.

Mit Einführung der DIN 1164-12 ist es wieder möglich, Zemente herzustellen, die einen Anteil an organischen Bestandteilen von max. 1 M.-% aufweisen. Solche Zemente sind mit dem Kurzzeichen HO zu kennzeichnen.

Beispiel für Normbezeichnungen

Bezeichnung eines Portlandzements der Festigkeitsklasse 42,5 R mit einem erhöhten Anteil an organischen Zusätzen (HO) nach dieser Norm:

Portlandzement
DIN 1164 – CEM I 42,5 R-HO

Bezeichnung eines Hochofenzements mit einem Massenanteil von Hüttensand zwischen 36 und 65 %, der Festigkeitsklasse 52,5 N mit erhöhtem Anteil an organischen Zusätzen (HO) nach dieser Norm:

Hochofenzement
DIN 1164 – CEM III/A 52,5 N-HO

1.3.5.4 Kennfarbe für die Sackware von Zement

Für Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164-11, Ausgabe 11/2003 und DIN 1164-12, Ausgabe 06/2005 ist für die Sackware die Kennfarbe und die Farbe des Aufdrucks festgelegt. Die Zuordnung erfolgt entsprechend der Festigkeitsklassen.

Festigkeitsklasse	Kennfarbe	Farbe des Aufdrucks
32,5 N 32,5 R	hellbraun	schwarz rot
42,5 N 42,5 R	grün	schwarz rot
52,5 N 52,5 R	rot	schwarz weiß

1.4 Zemente von SCHWENK

1.4.1 Portlandzemente

Zementart	Festigkeits- klasse	Zusätzliche Anforderungen	Hauptbestand- teile	
Portlandzement CEM I	32,5 R		Portlandzement- klinker	
Portlandzement CEM I	42,5 N		Portlandzement- klinker	
Portlandzement CEM I	42,5 N (sd)	Gesamtalkaligehalt $\leq 0,8$ M.-% Na_2O -Äquivalent	Portlandzement- klinker	
Portlandzement CEM I	42,5 R		Portlandzement- klinker	

Fortsetzung S. 80/81

Eigenschaften	Anwendung	Lieferwerk
normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeits- klassen C8/10 bis C30/37, Spannbeton nach DIN 1045-1	Bernburg
normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeits- klassen C8/10 bis C35/45,	Allmendingen Karlstadt
normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeits- klassen C8/10 bis C35/45, ins- besondere für Fahrbahndecken aus Beton nach ZTV Beton - StB	Bernburg Mergelstetten
hohe Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeits- klassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonfertigteile, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1	Allmendingen Bernburg Karlstadt

1.4.1 Portlandzemente

Zementart	Festigkeits- klasse	Zusätzliche Anforderungen	Hauptbestand- teile	
Portlandzement CEM I	52,5 N		Portlandzement- klinker	
Zement für Spritzbeton CEM I	52,5 N (sb)		Portlandzement- klinker	
Portlandzement CEM I	52,5 N (bs)	SO ₃ -Gehalt ≤ 3,0 M.-% Gesamtalkaligehalt ≤ 0,8 M.-% Na ₂ O-Äquivalent	Portlandzement- klinker	
Portlandzement CEM I	52,5 R		Portlandzement- klinker	

¹⁾ ausschließlich Sackware

Fortsetzung S. 82/83

Eigenschaften	Anwendung	Lieferwerk
hohe Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeitsklassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonfertigteile, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1	Bernburg Mergelstetten
optimiertes Erstarrungs- und Erhärtungsverhalten	Spritzbeton im Trocken- und Nassspritzverfahren	Mergelstetten
sehr hohe Hydratationswärme, sehr hohe Frühfestigkeit, geringere Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeitsklassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1, Betonbahnschwellen	Bernburg Mergelstetten
sehr hohe Hydratationswärme, sehr hohe Frühfestigkeit, geringere Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeitsklassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonfertigteile, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1	Allmendingen ¹⁾ Bernburg Karlstadt Mergelstetten

1.4.1 Portlandzemente

Zementart	Festigkeits- klasse	Zusätzliche Anforderungen	Hauptbestand- teile	
Portlandzement CEM I <i>Fastcrete® plus</i>	52,5 R (fc)		Portlandzement- klinker	
Portlandzement CEM I	32,5 N-HS ²⁾	$C_3A \leq 3,0 \text{ M.-%}$ $Al_2O_3 \leq 5,0 \text{ M.-%}$	Portlandzement- klinker	
Portlandzement CEM I	32,5 N- LH/HS ³⁾	Hydratationswärme $\leq 270 \text{ J/g}$, $C_3A \leq 3,0 \text{ M.-%}$ $Al_2O_3 \leq 5,0 \text{ M.-%}$	Portlandzement- klinker	

²⁾ Zukünftige Bezeichnung: CEM I 32,5 N-SR 3

³⁾ Zukünftige Bezeichnung: CEM I 32,5 N-LH/SR 3

Fortsetzung S. 84/85

Eigenschaften	Anwendung	Lieferwerk
höchste Frühfestigkeit, sehr hohe Hydratationswärme, geringe Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeits- klassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonfertigteile, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1	Mergelstetten
hoher Sulfatwiderstand, normale Hydratationswärme, normale Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeits- klassen C8/10 bis C30/37, massige Bauteile, Beton bei Sulfatangriff durch Grundwasser und Boden, Expositionsklassen XA 2, 3 nach DIN EN 206-1, Tabelle 2/DIN 1045-2, Spannbeton nach DIN 1045-1	Allmendingen
niedrige Hydratationswärme (LH), hoher Sulfatwiderstand, langsame Festigkeitsentwicklung, sehr gute Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeits- klassen C8/10 bis C30/37, massige Bauteile, Beton bei Sulfatangriff durch Grundwasser und Boden, Expositionsklassen XA 2, 3 nach DIN EN 206-1, Tabelle 2/DIN 1045-2, Tab. 1, Spannbeton nach DIN 1045-1	Allmendingen

1.4.1 Portlandzemente

Zementart	Festigkeits- klasse	Zusätzliche Anforderungen	Hauptbestand- teile	
Portlandzement CEM I	42,5 R-HS ⁴⁾	$C_3A \leq 3,0 \text{ M.-%}$ $Al_2O_3 \leq 5,0 \text{ M.-%}$	Portlandzement- klinker	
Portlandzement CEM I	52,5 N-NA	Gesamtalkaligehalt $\leq 0,60 \text{ M.-%}$ Na_2O -Äquivalent	Portlandzement- klinker	

⁴⁾ Zukünftige Bezeichnung: CEM I 42,5 R-SR 3

Eigenschaften	Anwendung	Lieferwerk
<p>hoher Sulfatwiderstand, normale Hydratationswärme, höhere Frühfestigkeit, gute Nacherhärtung</p>	<p>Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeits- klassen C30/37, C35/45, C45/55, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Beton bei Sulfatangriff durch Grundwasser und Boden, Expositionsklassen XA 2, 3 nach DIN EN 206-1, Tabelle 2/ DIN 1045-2, Spannbeton nach DIN 1045-1</p>	<p>Allmendingen Bernburg</p>
<p>niedriger wirksamer Alkaligehalt, hohe Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung</p>	<p>Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeits- klassen C30/37, C35/45, C45/55, Beton aus alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1, Fahrbahndeckenbeton</p>	<p>Bernburg</p>

1.4.2 Portlandkompositzemente

Zementart	Festigkeits- klasse	Zusätzliche Anforderungen	Hauptbestand- teile	
Portlandkalk- steinzement CEM II/A-LL	32,5 R		Portlandzement- klinker, Kalkstein	
Portlandkalk- steinzement CEM II/A-LL	42,5 N		Portlandzement- klinker, Kalkstein	
Portlandkalk- steinzement CEM II/A-LL	42,5 R		Portlandzement- klinker, Kalkstein	
Portlandkalk- steinzement CEM II/A-LL	52,5 R		Portlandzement- klinker, Kalkstein	

Fortsetzung S. 88/89

Eigenschaften	Anwendung	Lieferwerk
normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C8/10 bis C30/37, Spannbeton nach DIN 1045-1	Allmendingen Bernburg Mergelstetten
normale Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C8/10 bis C35/45, Spannbeton nach DIN 1045-1	Bernburg
normale Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonfertigteile, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1	Allmendingen Mergelstetten
hohe Hydratationswärme, sehr hohe Frühfestigkeit, geringe Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonfertigteile, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1	Mergelstetten

1.4.2 Portlandkompositzemente

Zementart	Festigkeits- klasse	Zusätzliche Anforderungen	Hauptbestand- teile	
Portland- hüttenzement CEM II/A-S	42,5 N		Portlandzement- klinker, Hüttensand	
Portland- hüttenzement CEM II/A-S	42,5 R		Portlandzement- klinker, Hüttensand	
Portland- hüttenzement CEM II/A-S	52,5 R		Portlandzement- klinker, Hüttensand	
Portland- puzzolanzement CEM II/B-P Trasszement	32,5 N		Portlandzement- klinker, Trass	

¹⁾ ausschließlich Sackware

Fortsetzung S. 90/91

Eigenschaften	Anwendung	Lieferwerk
normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C8/10 bis C35/45, Spannbeton nach DIN 1045-1	Karlstadt
normale Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonfertigteile, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1	Karlstadt
hohe Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonfertigteile, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1	Bernburg Karlstadt
langsame Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung, gutes Wasserrückhaltevermögen, gutes Kalkbindevermögen	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Mauermörtel und Putze nach den entsprechenden Regelwerken	Allmendingen ¹⁾ Bernburg ¹⁾ Karlstadt ¹⁾ Mergelstetten

1.4.2 Portlandkompositzemente

Zementart	Festigkeits- klasse	Zusätzliche Anforderungen	Hauptbestand- teile	
Portland- kompositzement CEM II/B-M (S-D) <i>Duracrete® basic</i>	52,5 N		Portlandzement- klinker, Hüttensand, Mikrosilica	
Portland- kompositzement CEM II/B-M (S-LL) Zulassungsnr. Z-3.17-1829	32,5 R-AZ		Portlandzement- klinker, Hüttensand, Kalkstein	
Portland- kompositzement CEM II/B-M (S-LL) Zulassungsnr. Z-3.17-1828	42,5 R-AZ		Portlandzement- klinker, Hüttensand, Kalkstein	
Portland- kompositzement CEM II/B-M (V-LL) Zulassungsnr. Z-3.17-1849	32,5 R-AZ		Portlandzement- klinker, Flugasche, Kalkstein	

Eigenschaften	Anwendung	Lieferwerk
hohe Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, gute Nacherhärtung, hohe Endfestigkeit	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C35/45 bis C100/115, Betonfertigteile, Betonwaren, frühhochfester Beton, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1, insbesondere für Hochleistungs- betone	Bernburg Karlstadt
normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C8/10 bis C30/37, Spannbeton nach DIN 1045-1	Karlstadt
normale Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonfertigteile, Betonieren bei kühler Witterung, Spannbeton nach DIN 1045-1	Bernburg
normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C8/10 bis C30/37, Spannbeton nach DIN 1045-1	Allmendingen

1.4.3 Hochofenzemente

Zementart	Festigkeits- klasse	Zusätzliche Anforderungen	Hauptbestand- teile	
Hochofen- zement CEM III/A	42,5 N		Portlandzement- klinker, Hüttensand	
Hochofen- zement CEM III/A	32,5 N-LH	Hydratationswärme ≤ 270 J/g	Portlandzement- klinker, Hüttensand	
Hochofen- zement CEM III/A	32,5 N-LH/NA	Hydratationswärme ≤ 270 J/g Hüttensandgehalt ≥ 50 M.-% Gesamtalkaligehalt $\leq 1,1$ M.-% Na_2O -Äquivalent	Portlandzement- klinker, Hüttensand	
Hochofen- zement CEM III/A	42,5 N-NA	Hüttensandgehalt ≥ 49 M.-% Gesamtalkaligehalt $\leq 0,95$ M.-% Na_2O -Äquivalent	Portlandzement- klinker, Hüttensand	

¹⁾ ausschließlich Sackware

Fortsetzung S. 94/95

Eigenschaften	Anwendung	Lieferwerk
normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, gute Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C8/10 bis C35/45, Spannbeton nach DIN 1045-1	Allmendingen ¹⁾ Bernburg Mergelstetten
niedrige Hydratationswärme (LH), langsame Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C8/10 bis C30/37, Beton für massige Bauteile, Spannbeton nach DIN 1045-1	Karlstadt
niedrige Hydratationswärme (LH), niedriger wirksamer Alkaligehalt (NA), langsame Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeitsklassen C8/10 bis C30/37, Beton aus alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen, Beton für massige Bauteile, Spannbeton nach DIN 1045-1	Bernburg
niedriger wirksamer Alkaligehalt (NA), normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, gute Nacherhärtung	Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Festigkeitsklassen C8/10 bis C35/45, Beton aus alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen, Spannbeton nach DIN 1045-1	Bernburg

1.4.3 Hochofenzemente

Zementart	Festigkeits- klasse	Zusätzliche Anforderungen	Hauptbestand- teile	
Hochofen- zement CEM III/B	32,5 N- LH/HS/NA ⁵⁾	Hydrationswärme ≤ 270 J/g Hüttensandgehalt ≥ 66 M.-% Gesamtalkaligehalt $\leq 2,0$ M.-% Na ₂ O-Äquivalent	Portlandzement- klinker, Hüttensand	
Hochofen- zement CEM III/B	42,5 N- LH/HS ⁶⁾	Hydrationswärme ≤ 270 J/g Hüttensandgehalt ≥ 66 M.-%	Portlandzement- klinker, Hüttensand	
Hochofen- zement CEM III/A Zulassungsnr. Z-3.11-2028	52,5 N-HS ⁷⁾	Hüttensandgehalt ≥ 50 M.-%	Portlandzement- klinker, Hüttensand	

⁵⁾ Zukünftige Bezeichnung: CEM III/B 32,5 N-LH/SR/NA

⁶⁾ Zukünftige Bezeichnung: CEM III/B 42,5 N-LH/SR

⁷⁾ Zukünftige Bezeichnung: CEM III/A 52,5 N-SR

Eigenschaften	Anwendung	Lieferwerk
<p>niedrige Hydratationswärme (LH), hoher Sulfatwiderstand, niedriger wirksamer Alkaligehalt (NA), langsame Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung</p>	<p>Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeitsklassen C8/10 bis C30/37, Beton für massive Bauteile, Beton bei Sulfatangriff durch Grundwasser und Boden, Expositionsklassen XA 2, 3 nach DIN EN 206-1 Tabelle 2/ DIN 1045-2 Tab. 1, Spannbeton nach DIN 1045-1</p>	<p>Bernburg</p>
<p>niedrige Hydratationswärme (LH), hoher Sulfatwiderstand, gute Nacherhärtung, hohe Endfestigkeit</p>	<p>Beton DIN EN 206-1/DIN 1045-2, empfohlene Druckfestigkeitsklassen C30/37, C35/45, C45/55, Betonwaren, Betonfertigteile, Beton bei Sulfatangriff durch Grundwasser und Boden, Expositionsklassen XA 2, 3 nach DIN EN 206-1, Tabelle 2/ DIN 1045-2 Tab. 1, Spannbeton nach DIN 1045-1</p>	<p>Karlstadt</p>
<p>normale Hydratationswärme, hoher Sulfatwiderstand, gute Nacherhärtung, hohe Endfestigkeit</p>		<p>Karlstadt</p>

1.5 Spezialbaustoffe von SCHWENK

1.5.1 Spezialbindemittel

Produkt	Hauptbestandteile	Eigenschaften	
Füllbinder® L	Hydraulische Bindemittel, Gesteinsmehle	Je nach w/b-Wert sehr gut pump- und fließfähig, geringe Sedimentation, geringe Wasserdurchlässigkeit, niedrige Festigkeit	
Füllbinder® L-hs	Hydraulische Bindemittel, die einen hohen Sulfatwiderstand aufweisen, Gesteinsmehle	Je nach w/b-Wert sehr gut pump- und fließfähig, geringe Sedimentation, geringe Wasserdurchlässigkeit, niedrige Festigkeit, geprüft sulfatbeständig	
Füllbinder® M	Hydraulische Bindemittel, Gesteinsmehle	Je nach w/b-Wert sehr gut pump- und fließfähig, geringe Sedimentation, niedrige Festigkeit	
Füllbinder® H	Hydraulische Bindemittel, Gesteinsmehle	Je nach w/b-Wert sehr gut pump- und fließfähig, geringe Wasserdurchlässigkeit, höhere Früh- und Endfestigkeit	
Füllbinder® H-hs	Hydraulische Bindemittel, die einen hohen Sulfatwiderstand aufweisen, Gesteinsmehle	Je nach w/b-Wert sehr gut pump- und fließfähig, geringe Wasserdurchlässigkeit, höhere Früh- und Endfestigkeit, geprüft sulfatbeständig	
Füllbinder® S	Hydraulische Bindemittel, Gesteinsmehle	Je nach w/b-Wert sehr gut pump- und fließfähig, hohe Früh- und Endfestigkeit	

Fortsetzung S. 98/99

Anwendung	Lieferwerk
Hohlraumverfüllung und Abdichtungen jeglicher Art, Abdichtungen im Brunnenbau, Mantelmischung bei Injektionen, Geothermie	Allmendingen Bernburg Karlstadt Mergelstetten
Hohlraumverfüllung und Abdichtungen jeglicher Art, Abdichtungen im Brunnenbau, Mantelmischung bei Injektionen, Geothermie, Einsatz in sulfathaltigen Wässern und Böden	Allmendingen Mergelstetten
Hohlraumverfüllung und Abdichtungen jeglicher Art, Abdichtungen im Brunnenbau	Bernburg Karlstadt Mergelstetten
Hohlraumverfüllung und Abdichtungen jeglicher Art, Abdichtungen im Brunnenbau, Mantelmischungen bei Injektionen, Geothermie	Allmendingen Bernburg Karlstadt Mergelstetten
Hohlraumverfüllung und Abdichtungen jeglicher Art, Abdichtungen im Brunnenbau, Geothermie, Einsatz in sulfathaltigen Wässern und Böden	Allmendingen Mergelstetten
Hohlraumverfüllung, Düsenstrahlverfahren zur Herstellung von Dichtsohlen und -wänden, Verfestigung von Böden und Lockergestein	Bernburg Karlstadt Mergelstetten

1.5.1 Spezialbindemittel

Produkt	Hauptbestandteile	Eigenschaften	
Füllbinder® R	Hydraulische Bindemittel, Gesteinsmehle	Je nach w/b-Wert sehr gut pump- und fließfähig, sehr hohe Früh- und Endfestigkeit	
Füllbinder® EWM	Hydraulische Bindemittel, die einen hohen Sulfatwiderstand aufweisen, feine Gesteinskörnung	sehr gut pump- und fließfähig, hohe Wärmeleitfähigkeit, geprüft sulfatbeständig	
Jet-Binder®	Hydraulische Bindemittel, ausgewählte Zusatzstoffe	sehr gut pump- und fließfähig, geringe Sedimentation, hohe Früh- und Endfestigkeit	
Recyclingbinder hydrophobiert oder nicht hydrophobiert	Hydraulische Bindemittel, latent hydraulische und/oder puzzolanische Zusatzstoffe	Einbindung von Schadstoffen, Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen physikalische und chemische Belastung	
Deponiebinder	Hydraulische Bindemittel, latent hydraulische und/oder puzzolanische Zusatzstoffe	Hydratationsprodukte stabilisieren und verfestigen, Abfälle und binden Schadstoffe ein	
Boden- und Tragschichtbinder HRB 32,5 E DIN 18506	Hydraulische Bindemittel, latent hydraulische und/oder puzzolanische Zusatzstoffe	Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen physikalische und chemische Belastung	
SCHWENK hydrophobierter Tragschichtbinder	Hydraulische Bindemittel, hydrophobe Zusätze	Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen physikalische und chemische Belastung	

Fortsetzung S. 100/101

Anwendung	Lieferwerk
Düsenstrahlverfahren zur Herstellung von Unterfangungen, Verfestigung von Böden und Lockergestein, Rüttelstopfsäulen	Bernburg Karlstadt Mergelstetten
Geothermie, Verfüllung von Erdwärmesonden, Einsatz in sulfathaltigen Wässern und Böden	Allmendingen Mergelstetten
Düsenstrahlverfahren, Bodeninjektionen	Karlstadt Mergelstetten
Verfestigung und Schadstoffbindung von Abfällen im Recyclingverfahren, Einbindung von Schadstoffen in belasteten Böden	Bernburg Karlstadt Mergelstetten
Verfestigung von belasteten und unbelasteten Abfällen für Transport und Ablagerung im Untertagebau zur Verfüllung von Hohlräumen	Bernburg Karlstadt Mergelstetten
Bodenverbesserung und -verfestigung, hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT), Walzbeton, Wiederverwertung von teerhaltigem Straßenaufbruch	Bernburg Karlstadt Mergelstetten
Bodenverbesserung und -verfestigung, hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT), Walzbeton, Wiederverwertung von teerhaltigem Straßenaufbruch	Bernburg Karlstadt Mergelstetten

1.5.1 Spezialbindemittel

Produkt	Hauptbestandteile	Eigenschaften	
SCHWENK Recyclingbinder hydrophobiert oder nicht hydrophobiert	Hydraulische Bindemittel, latent hydraulische und/ oder puzzolanische Zusatzstoffe	Einbindung von Schadstoffen, Erhöhung der Widerstands- fähigkeit gegen physikalische und chemische Belastung	
Bodenbinder 100 Bodenbinder 200 Bodenbinder 300 Bodenbinder 400 Bodenbinder 500 Bodenbinder 600 Bodenbinder 700	Reaktiver Kalk, Zement, latent hydraulische und/ oder puzzolanische Zusatzstoffe, Gesteinsmehle	Abgestimmte Mischung zur Verbesserung der Tragfähig- keit und Verdichtungsfähig- keit des anstehenden Bodens	
Bodenbinder L Bodenbinder M	Reaktiver Kalk, Zement, latent hydraulische und/ oder puzzolanische Zusatzstoffe, Gesteinsmehle	Abgestimmte Mischung zur Verbesserung der Tragfähig- keit und Verdichtungsfähig- keit des anstehenden Bodens	
Bodenbinder B 10 Bodenbinder B 20 Bodenbinder B 30 Bodenbinder B 40 Bodenbinder B 50 Bodenbinder B 60 Bodenbinder B 70	Reaktiver Kalk, Zement, latent hydraulische und/ oder puzzolanische Zusatzstoffe, Gesteinsmehle	Abgestimmte Mischung zur Verbesserung der Tragfähig- keit und Verdichtungsfähig- keit des anstehenden Bodens	
SCHWENK hydrophobierter Zement	Hydraulische Bindemittel, hydrophobe Zusätze	Erhöhung der Widerstands- fähigkeit gegen physikalische und chemische Belastung	

Anwendung	Lieferwerk
Aufbereitung von teerhaltigem Straßenaufbruch, Einbindung von Schadstoffen in belasteten Böden	Karlstadt Mergelstetten
Bodenverbesserung und -verfestigung, für den Grund- und Erdbau, Dammbau, Verkehrswegebau	Karlstadt Mergelstetten
Bodenverbesserung und -verfestigung, für den Grund- und Erdbau, Dammbau, Verkehrswegebau	Bernburg Karlstadt Mergelstetten
Bodenverbesserung und -verfestigung, für den Grund- und Erdbau, Dammbau, Verkehrswegebau	Bernburg Karlstadt Mergelstetten
Bodenverbesserung und -verfestigung, hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT), Walzbeton, Wiederverwertung von teerhaltigem Straßenaufbruch	Bernburg Karlstadt Mergelstetten

1.5.2 Spezialzemente

Produkt	Hauptbestandteile	Eigenschaften	
Ankerzement CEM I 42,5 R-HO DIN 1164-12	Portlandzementklinker, spezielle Zusätze	Sehr hohe Früh- und Endfestigkeit, gezielte Expansion	
Ankerzement HS CEM III/A 52,5 N-HS/HO⁸⁾ Z-3.11-2033	Portlandzementklinker, Hüttensand, spezielle Zusätze	Sehr hohe Frühfestigkeit, gezielte Expansion, geprüft sulfatbeständig	

1.5.3 Mörtel und Betone

Produkt	Hauptbestandteile	Eigenschaften	
Ankermörtel	Zement DIN EN 197-1, Gesteinskörnung DIN EN 12620, spezielle Zusätze	Gut pumpbar, standfest für Über-Kopf-Verarbeitung, schnelle Festigkeitsentwick- lung, hohe Endfestigkeit	
Ankermörtel-hs	Zement DIN EN 197-1, Gesteinskörnung DIN EN 12620, spezielle Zusätze	Gut pumpbar, standfest für Über-Kopf-Verarbeitung, schnelle Festigkeitsentwick- lung, hohe Endfestigkeit, geprüft sulfatbeständig	
Trockenbeton TB 25/4	Zement DIN EN 197-1 Gesteinskörnung DIN EN 12620, spezielle Zusätze	Trockenbeton und -mörtel außerhalb des bauaufsichtlich geregelten Bereichs, gut pumpbar	

⁸⁾ Zukünftige Bezeichnung: CEM III/A 52,5 N-SR/HO

Anwendung	Lieferwerk
Injektions-/Verpressanker nach DIN 4125/DIN EN 1537, Verpresspfähle nach DIN 4128/DIN EN 14199, Fels- und Bodennägel DIN EN 14490, Selbstbohranker, Auftriebsicherung, Baugruben-/Hangsicherung	Karlstadt
Injektions-/Verpressanker nach DIN 4125/DIN EN 1537, Verpresspfähle nach DIN 4128/DIN EN 14199, Fels- und Bodennägel, Auftriebsicherung, Hangsicherung	Karlstadt

Anwendung	Lieferwerk
Gebirgsanker im Tunnel- und Stollenbau, Verpressanker und Bodennägel bei Baugruben-, Fels- und Hangsicherung	Karlstadt
Gebirgsanker im Tunnel- und Stollenbau, Verpressanker und Bodennägel bei Baugruben-, Fels- und Hangsicherung im Tief- und Grundbau	Karlstadt
Gründungselemente im Spezialtiefbau	Bernburg Eigeltingen Gräfenberg Karlstadt Wittislingen



Gesteinskörnungen

2. Gesteinskörnungen für Beton

2.1 Die neuen Gesteinskörnungsnormen im Überblick

Anfang Juni 2004 lösten mehrere europäische Gesteinskörnungsnormen endgültig alte deutsche Zuschlagsnormen ab. Dies wirkte sich auch auf die Anwendung in Deutschland aus. Eine entsprechende Anpassung des Normenwerkes war erforderlich. Der folgende Überblick gibt Aufschluss über wichtige Zusammenhänge und Veränderungen auf dem Gebiet der Gesteinskörnungsnormen.

Normale Gesteinskörnung

DIN EN 12620	Gesteinskörnungen für Beton
DAfStb-Richtlinie	Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie)

Leichte Gesteinskörnung

DIN EN 13055-1	Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel
----------------	--

Rezyklierte Gesteinskörnung

DIN 4226-100	Rezyklierte Gesteinskörnungen
DAfStb-Richtlinie	Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100

2.2 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten folgende Begriffe:

Gesteinskörnung

Körniges Material für die Verwendung im Bauwesen. Gesteinskörnungen können natürlich, industriell hergestellt oder recycelt sein.

Natürliche Gesteinskörnung

Gesteinskörnung aus mineralischen Vorkommen, die ausschließlich einer mechanischen Aufbereitung unterzogen ist.

Leichte Gesteinskörnung

Gesteinskörnung mineralischen Ursprungs mit einer Kornrohichte von nicht mehr als 2.000 kg/m^3 oder einer Schüttdichte von nicht mehr als 1.200 kg/m^3 .

Normale Gesteinskörnung

Gesteinskörnung mineralischen Ursprungs mit einer Kornrohichte von 2.000 kg/m^3 bis unter 3.000 kg/m^3 .

Schwere Gesteinskörnung

Gesteinskörnung mineralischen Ursprungs mit einer Kornrohichte von mindestens 3.000 kg/m^3 .

Korngrößenverteilung

Korngrößenverteilung, angegeben als prozentualer Anteil, der durch eine festgelegte Anzahl von Sieben hindurchgeht, als Massenanteil in Prozent.

Korngruppe

Benennung einer Gesteinskörnung mittels unterer (d) oder oberer (D) Siebgröße, ausgedrückt als d/D.

ANMERKUNG: Die Benennung schließt ein, dass einige Körner durch das untere Sieb fallen (Unterkorn) und einige auf dem oberen Sieb liegen bleiben (Überkorn).

Feine Gesteinskörnung (Sand)

Benennung für kleinere Korngruppen mit D nicht größer als 4 mm und $d = 0$.

ANMERKUNG: Feine Gesteinskörnungen können durch den natürlichen Zerfall von Felsgestein oder Kies und/oder durch das Brechen von Felsgestein oder Kies oder die Aufbereitung industriell hergestellter oder rezyklierter Gesteinskörnungen entstehen.

Grobe Gesteinskörnung

Benennung für größere Korngruppen mit D nicht kleiner als 4 mm und d nicht kleiner als 2 mm.

Füller (Gesteinsmehl)

Weitgehend inerte Gesteinskörnung, deren überwiegender Teil durch das 0,063-mm-Sieb hindurchgeht und den Baustoffen zur Erreichung bestimmter Eigenschaften zugegeben werden kann.

Bezeichnung der Gesteinskörnungen

Gesteinskörnung mit		Bezeichnung
Kleinstkorn [mm]	Größtkorn [mm]	
0	0,063	Füller (Gesteinsmehl)
0	≤ 4	Feine Gesteinskörnung (Sand, Brechsand)
≥ 2	≥ 4	Grobe Gesteinskörnung (Kies, Splitt, Schotter)

Feinanteil

Anteil einer Gesteinskörnung, der durch das 0,063-mm-Sieb hindurchgeht.

Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8

Benennung für natürliche Gesteinskörnung glazialen und/oder fluvialen Ursprungs mit D nicht größer als 8 mm.

ANMERKUNG: Die Gesteinskörnung kann auch durch das Mischen aufbereiteter Gesteinskörnungen hergestellt werden.

Industriell hergestellte Gesteinskörnung

Gesteinskörnung mineralischen Ursprungs, die industriell unter Einfluss eines thermischen oder sonstigen Prozesses entstanden ist.

Gesteinskörnung aus Nebenprodukten

Gesteinskörnung mineralischen Ursprungs, die in einem industriellen Prozess durch eine ausschließlich mechanische Aufbereitung entstanden ist.

Recycling-Gesteinskörnung

Gesteinskörnung, die durch Aufbereitung anorganischen Materials entstanden ist, das zuvor als Baustoff eingesetzt war.

2.3 Einteilung der Gesteinskörnungen nach der Rohdichte

2.3.1 Einteilung nach der Kornrohichte

Leichte Gesteinskörnung	Normale Gesteinskörnung	Schwere Gesteinskörnung
$< 2.000 \text{ kg/m}^3$	$\geq 2.000 < 3.000 \text{ kg/m}^3$	$\geq 3.000 \text{ kg/m}^3$

2.3.2 Leichte Gesteinskörnung (ausgewählte Stoffarten)

Stoffart	Kornrohichte [kg/m^3]	Schüttdichte ¹⁾ [kg/m^3]
Naturbims	700 – 1.600	400 – 700
Hüttenbims	1.000 – 2.000	400 – 1.100
Blähton/Blähschiefer	600 – 1.400	300 – 800
Ziegelsplitt	1.200 – 1.800	1.000 – 1.200
Schaumlava	1.700 – 2.000	800 – 1.000
Sinterbims	900 – 1.800	400 – 1.000

¹⁾ lose eingefüllt

2.3.3 Normale Gesteinskörnung (ausgewählte Stoffarten)

Stoffart	Kornrohichte [kg/m^3]	Druckfestigkeit [N/mm^2]
Quarzgestein	2.600 – 2.700	70 – 240
Kalkstein	2.650 – 2.850	80 – 180
Granit	2.600 – 2.690	160 – 240
Gabbro	2.800 – 3.000	170 – 300
Diabas	2.800 – 2.900	180 – 250
Basalt	2.900 – 3.050	250 – 400

2.3.4 Schwere Gesteinskörnung und Gesteinskörnung für Strahlenschutz

Stoffgruppe	Kornroh- dichte kg/m ³	Chem. Elemente (Haupt- bestandteile)	Richtpreis Normale Gesteins- körnung= 1
Natürliche schwere Gesteinskörnungen			
- Baryt (Schwerspat)	4.000 – 4.300	Ba, S, O	10 – 15
- Ilmenit (Titaneisenstein)	4.600 – 4.700	Fe, Ti, O	10 – 15
- Magnetit (Magneisenstein)	4.600 – 4.800	Fe, O	10 – 25
- Hämatit (Roteisenstein)	4.700 – 4.900	Fe, O	15 – 25
Industriell hergestellte schwere Gesteins- körnungen			
- Schwermetallschlacken ¹⁾	3.500 – 3.800	Si, Ca, Fe, O	5 – 10
- Ferrosilicium	5.800 – 6.200	Fe, Si	20 – 35
- Ferrophosphor	6.000 – 6.200	Fe, P	30 – 40
- Stahlgranalien (≤ 8 mm)	6.800 – 7.500	Fe	30 – 45
- Stahlsand (0,2 – 3 mm)	7.500 – 7.600	Fe	50 – 60
Gesteinskörnungen mit erhöhtem Kristallwassergehalt			
- Limonit (4 – 16 mm)	3.600 – 3.800	Fe, O, H	15 – 20
- Serpentin	2.500 – 2.600	Si, Mg, O, H	10 – 20
Borhaltige Zusatzstoffe			
- Borocalcit, Colemanit	2.300 – 2.400	B, Ca, O, H	40 – 65
- Borfritte	2.400 – 2.600	B, Si, Na, O	rd. 200
- Borcarbid	2.400	B, C	rd. 3.300

¹⁾ Der Schwermetallgehalt kann starken Schwankungen unterliegen.

2.4 Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620

Übersicht über wichtige Anforderungen und Kategorien

Anforderungen	Eigenschaften	Kategorie
geometrische	Korngruppe	d/D
	Kornzusammensetzung	G
	Kornform von groben Gesteinskörnungen	FI, SI
	Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen	SC
	Gehalt an Feinanteilen	f
physikalische	Widerstand gegen Zertrümmerung	LA, SZ
	Verschleißwiderstand von groben Gesteinskörnungen	M _{DE}
	Polier- und Abriebwiderstand von groben Gesteinskörnungen	PSV, AAV, A _N
	Frost- und Tau-Widerstand von groben Gesteinskörnungen	F, MS
chemische	Gehalt an wasserlöslichen Chlorid-Ionen	-
	Gehalt an säurelöslichem Sulfat	AS
	Gesamt-Schwefelgehalt	-
	Bestandteile, die das Erstarrungs- und Erhärtungsverhalten des Betons verändern	-

2.5 Geometrische Anforderungen an Gesteinskörnungen

Welche der festgelegten Eigenschaften notwendigerweise zu prüfen und anzugeben sind, hängt von der vorgesehenen Art der Verwendung und der Herkunft der Gesteinskörnung ab. Falls dies verlangt wird, müssen die vorgesehenen Prüfungen durchgeführt werden, um die entsprechenden geometrischen Eigenschaften zu bestimmen.

2.5.1 Einteilung der Gesteinskörnungen nach Korngruppen

Alle Gesteinskörnungen sind durch Angabe der Korngruppe, ausgedrückt als d/D, zu beschreiben.

Korngruppen werden unterteilt nach dem Verhältnis zwischen der oberen Siebgröße D und der unteren Siebgröße d. Das Verhältnis D/d darf nicht kleiner 1,4 sein.

Siebgrößen zur Bezeichnung der Korngruppen (Lieferkörnungen)

Grundsiebsatz mm	Grundsiebsatz plus Ergänzungssiebsatz 1 mm	Grundsiebsatz plus Ergänzungssiebsatz 2¹⁾ mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
–	5,6 (5)	–
–	–	6,3 (6)
8	8	8
–	–	10
–	11,2 (11)	–
–	–	12,5 (12)
–	–	14
16	16	16
–	–	20
–	22,4 (22)	–
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
–	–	40
–	45	–
63	63	63

¹⁾ In Deutschland sind nur Siebe aus der Reihe „Grundsiebsatz plus Ergänzungssiebsatz 1“ üblich.

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

2.5.2 Kornzusammensetzung

Die nach DIN EN 933-1 bestimmte Korngrößenverteilung einer Gesteinskörnung muss mit den auf die jeweilige Korngruppe d/D zutreffenden Anforderungen nach DIN EN 12620 4.3.1 bis 4.3.6 übereinstimmen.

2.5.2.1 Grobe Gesteinskörnungen

Allgemeine Anforderungen an die Kornzusammensetzung

Gesteins- körnung	Korngröße mm		
Grob	$D/d \leq 2$ oder $D \leq 11,2$	2D	1,4D ^{1) 2)}
		100	98 bis 100
		100	98 bis 100
	$D/d > 2$ und $D > 11,2$	100	98 bis 100
Fein	$D \leq 4$ und $d = 0$	100	95 bis 100
Natürlich zusammen- gesetzte Gesteins- körnung 0/8	$D = 8$ und $d = 0$	100	98 bis 100
Korngemisch	$D \leq 45$ und $d = 0$	100	98 bis 100
		100	98 bis 100

¹⁾ Wenn die errechneten Siebgrößen nicht mit der Reihe R 20 nach DIN ISO 565 übereinstimmen, ist stattdessen das nächstliegende Sieb der Reihe heranzuziehen.

²⁾ Für Beton mit Ausfallkörnung oder andere spezielle Verwendungszwecke können zusätzliche Anforderungen vereinbart werden.

³⁾ Der Siebdurchgang durch D darf unter Umständen auch mehr als 99 % Massenanteil betragen. In diesen Fällen muss der Lieferant die typische Kornzusammensetzung aufzeichnen und angeben, wobei die Siebgrößen D, d, d/2 und die zwischen d und D liegenden Siebe des Grundsiebsatzes plus Ergänzungssiebsatz 1 oder des Grundsiebsatzes plus Ergänzungssiebsatz 2 enthalten sein müssen. Siebe, die nicht mindestens 1,4-mal größer sind als das nächst kleinere Sieb, können davon ausgenommen werden.

⁴⁾ Weitere Produktnormen für Gesteinskörnungen umfassen andere Anforderungen an die Kategorie.

Durchgang Massenanteil in Prozent				Kategorie
	D ³⁾	d ²⁾	d/2 ^{1) 2)}	G ⁴⁾
	85 bis 99	0 bis 20	0 bis 5	G _C 85/20
	80 bis 99	0 bis 20	0 bis 5	G _C 80/20
	90 bis 99	0 bis 15	0 bis 5	G _C 90/15
	85 bis 99	–	–	G _F 85
	90 bis 99	–	–	G _{NG} 90
	90 bis 99	–	–	G _A 90
	85 bis 99	–	–	G _A 85

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

Grenzwerte (absolut) und Grenzabweichungen für den Siebdurchgang durch das mittlere Sieb für grobe Gesteinskörnungen

D/d	Mittleres Sieb mm	Grenzwerte (absolut) und Grenzabweichungen für den Siebdurchgang durch das mittlere Sieb Massenanteil in Prozent		Kategorie G _T
		Grenzwerte (absolut)	Grenzabweichung für den vom Hersteller angegebenen typischen Siebdurchgang	
< 4	D/1,4	25 bis 70	± 15	G _T 15
≥ 4	D/2	25 bis 70	± 17,5	G _T 17,5

Wenn das wie angegeben errechnete mittlere Sieb nicht in der Reihe R 20 nach DIN ISO 565 enthalten ist, muss stattdessen das nächstliegende Sieb der Reihe verwendet werden.

ANMERKUNG: Grenzwerte (absolut) und Grenzabweichungen für die gebräuchlichsten Korngruppen (Lieferkörnungen) sind in DIN EN 12620 Anhang A angegeben.

2.5.2.2 Feine Gesteinskörnung (Sand)

Grenzabweichungen für die vom Hersteller angegebene typische Kornzusammensetzung von feinen Gesteinskörnungen (Sand) für allgemeine Verwendungszwecke

Siebgröße mm	Grenzabweichungen für den Siebdurchgang Massenanteil in Prozent		
	0/4 mm	0/2 mm	0/1 mm
4	$\pm 5^{1)}$	—	—
2	—	$\pm 5^{1)}$	—
1	± 20	± 20	$\pm 5^{1)}$
0,250	± 20	± 25	± 25
0,063 ²⁾	± 3	± 5	± 5

¹⁾ Zusätzlich zu der Grenzabweichung von ± 5 % Massenanteil gelten die Anforderungen für den Siebdurchgang durch D nach Tabelle 2.5.2.1 (S. 114).

²⁾ Für den Siebdurchgang durch das 0,063-mm-Sieb gelten zusätzlich zu den angegebenen Grenzabweichungen die in Tabelle 2.5.6.1 (S. 129) angegebenen Höchstwerte des Gehaltes an Feinanteilen.

Für spezielle Verwendungszwecke und in Fällen, in denen die Schwankungen der Kornzusammensetzung reduziert werden sollen, sind verminderte Grenzabweichungen für die Kornzusammensetzung anzuwenden.

Verminderte Grenzabweichungen für die vom Hersteller angegebene typische Kornzusammensetzung von feinen Gesteinskörnungen (Sand) für spezielle Verwendungszwecke

Siebgröße mm	Grenzabweichungen für den Siebdurchgang Massenanteil in Prozent		
	0/4 mm	0/2 mm	0/1 mm
4	$\pm 5^{1)}$	—	—
2	—	$\pm 5^{1)}$	—
1	± 10	± 10	$\pm 5^{1)}$
0,250	± 10	± 15	± 15
0,063 ²⁾	± 3	± 5	± 5

¹⁾ Zusätzlich zu der Grenzabweichung von ± 5 % Massenanteil gelten die Anforderungen für den Siebdurchgang durch D nach Tabelle 2.5.2.1 (S. 114).

²⁾ Für den Siebdurchgang durch das 0,063-mm-Sieb gelten zusätzlich zu den angegebenen Grenzabweichungen die in Tabelle 2.5.6.1 (S. 129) angegebenen Höchstwerte des Gehaltes an Feinanteilen.

2.5.2.3 Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 mm

Grenzabweichungen für die vom Hersteller angegebene typische Kornzusammensetzung für natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnungen 0/8 mm

Siebgröße mm	Grenzabweichungen für den Siebdurchgang in Massenanteil in Prozent
4	± 5
2	± 10
1	± 10
0,250	± 10
0,125	± 3
0,063	± 2

2.5.2.4 Füller (Gesteinsmehl)

Die nach DIN EN 933-10 bestimmte Kornzusammensetzung von aus Gesteinskörnungen hergestelltem Füller muss den Grenzwerten nachfolgender Tabelle entsprechen.

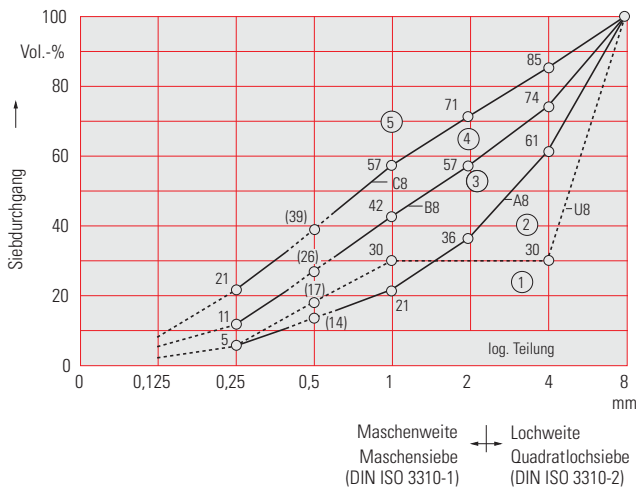
Anforderungen an die Kornzusammensetzung von Füllern (Gesteinsmehlen)

Siebgröße mm	Siebdurchgang Massenanteil in Prozent	
	Absolut-Bereich für Einzelwerte	Maximaler Wert für die Größe des vom Hersteller anzugebenden Bereiches ¹⁾
2	100	–
0,125	85 bis 100	10
0,063	70 bis 100	10

¹⁾ Größe des anzugebenden Bereiches der Kornzusammensetzung auf Grundlage der letzten 20 Werte (s. DIN EN 12620 Tabelle H.1, Zeile 1). 90 % der Ergebnisse müssen innerhalb dieses Bereiches liegen; aber alle Ergebnisse müssen innerhalb des Absolut-Bereiches der Kornzusammensetzung liegen (s. Spalte 2 oben).

2.5.3 Sieblinien nach DIN 1045-2, Anhang L (informativ)

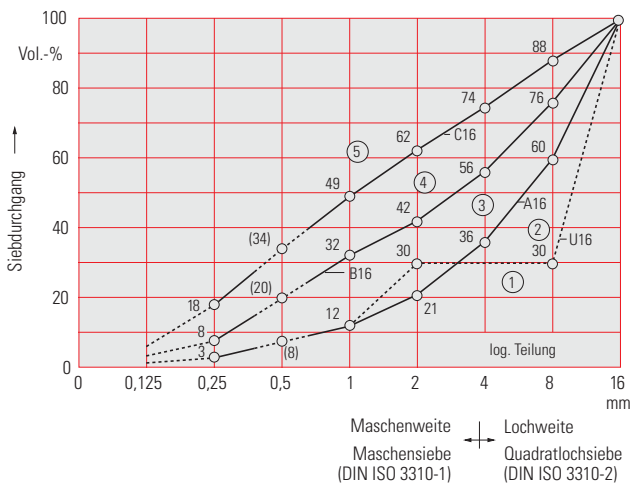
Größtkorn 8 mm



Folgende Bereiche sind in den Bildern angegeben:

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

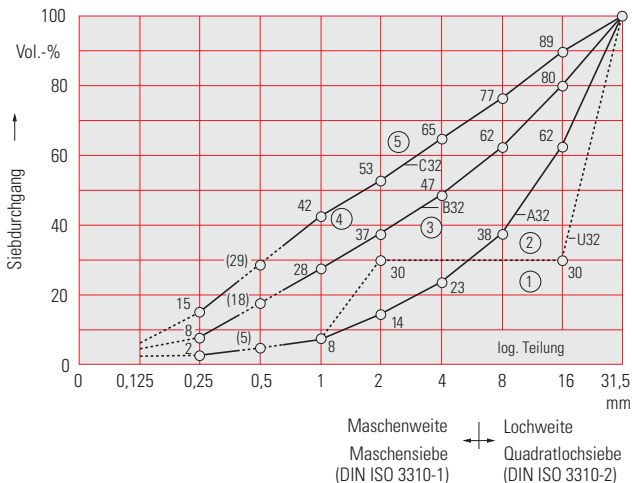
Größtkorn 16 mm



Folgende Bereiche sind in den Bildern angegeben:

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

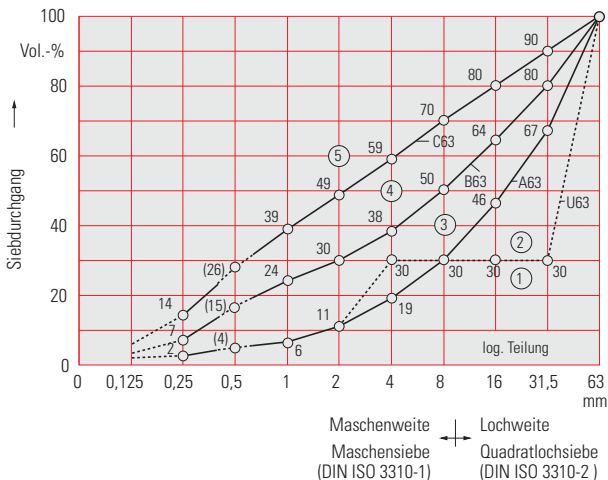
Größtkorn 32 mm



Folgende Bereiche sind in den Bildern angegeben:

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

Größtkorn 63 mm



Folgende Bereiche sind in den Bildern angegeben:

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

2.5.3.1 k-Wert und D-Summe

Sieblinie	k-Wert	D-Summe
A 32	5,48	352
B 32	4,20	480
C 32	3,30	570
U 32	5,65	335
A 16	4,60	440
B 16	3,66	534
C 16	2,75	625
U 16	4,87	413
A 8	3,63	537
B 8	2,90	610
C 8	2,27	673
U 8	3,88	512

Die Körnungsziffer k ist die Summe der in Prozent angegebenen Rückstände auf dem vollständigen Siebsatz mit 9 Sieben bis 63 mm (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 durch die 9 Siebe:

$$D = \text{Summe aller Durchgänge}$$

Zwischen Körnungsziffer k und D-Summe besteht folgende Beziehung:

$$100 \cdot k + D = 900$$

Beispiel:

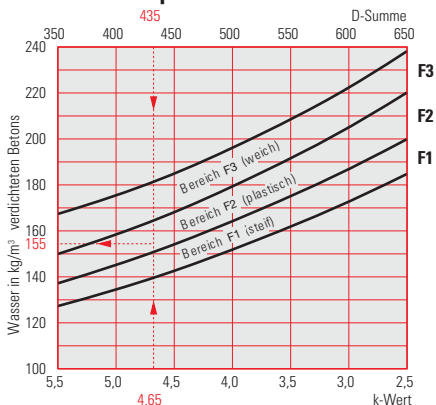
Errechnung von k-Wert und D-Summe für Sieblinie A/B 32

Siebloch- weite [mm]	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63	Summe
Siebrück- stand [%]	92	86	75	69	63	54	26	0	0	465
Siebdurch- gang [%]	8	14	25	31	37	46	74	100	100	435

$$k = \frac{465}{100} = 4,65$$

$$D = 435$$

siehe Seite 122 Sieblinie Bereich A/B

2.5.3.2 Wasseranspruch¹⁾

¹⁾ Gesteinskörnung oberflächentrocken. Anhaltswerte sind, wenn erforderlich, durch eine Erstprüfung zu belegen.

Beispiel:

gegeben: Gesteinskörnung mit k-Wert 4,65; Konsistenz F2

gesucht: Wasseranspruch

Ergebnis: 155 kg/m³ Beton (Wert aus Graphik 2.5.3.2, S. 125)

Richtwerte für den mittleren Wasseranspruch des Frischbetons in Abhängigkeit von Kornzusammensetzung und Betonkonsistenz (ohne Betonzusatzmittel).

Gesteinskörnung		Richtwerte für den Wassergehalt w in kg je m ³ Frischbeton der Konsistenzen F1, F2 und F3 bei Gesteinskörnung mit					
Sieb- linie n. DIN 1045-2 Anh. L	Kör- nungs- ziffer	großem Wasseranspruch			geringem Wasseranspruch		
		F1	F2	F3	F1	F2	F3
A 63	6,15	120±15	145±10	160±10	95±15	125±10	140±10
A 32	5,48	130±15	155±10	175±10	105±15	135±10	150±10
A 16	4,60	140±20	170±15	190±10	120±20	155±15	175±10
A 8	3,63	155±20	190±15	210±10	150±20	185±15	205±10
B 63	4,92	135±15	160±10	180±10	115±15	145±10	165±10
B 32	4,20	140±20	175±15	195±10	130±20	165±15	185±10
B 16	3,66	150±20	185±15	205±10	140±20	180±15	200±10
B 8	2,90	175±20	205±15	225±10	170±20	200±15	220±10
C 63	3,73	145±20	180±15	200±10	135±20	175±15	190±10
C 32	3,30	165±20	200±15	220±10	160±20	195±15	215±10
C 16	2,75	185±20	215±15	235±10	175±20	205±15	225±10
C 8	2,27	200±20	230±15	250±10	185±20	215±15	235±10

2.5.4 Kornform von groben Gesteinskörnungen

Die Kornform von groben Gesteinskörnungen wird nach DIN EN 933-3 bestimmt und als Plattigkeitskennzahl angegeben. Die Plattigkeitskennzahl FI (en: **F**lakiness **I**ndex) ist das Referenzprüfverfahren für die Bestimmung der Kornform von groben Gesteinskörnungen. Die Plattigkeitskennzahl muss entsprechend der zutreffenden in Tabelle 2.5.4.1 je nach Art der Verwendung festgelegten Kategorie angegeben werden.

2.5.4.1 Plattigkeitskennzahl

Kategorien für Höchstwerte der Plattigkeitskennzahl

Plattigkeitskennzahl	Kategorie FI
≤ 15	FI ₁₅
≤ 20	FI ₂₀
≤ 35	FI ₃₅
≤ 50	FI ₅₀
> 50	FI _{angeben}
Keine Anforderung	FI _{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.5.4.2 Kornformkennzahl

Soweit gefordert, muss die nach DIN EN 933-4 bestimmte Kornformkennzahl SI (en: **S**hape **I**ndex) entsprechend der zutreffenden in nachfolgender Tabelle je nach Art der Verwendung festgelegten Kategorie angegeben werden.

Kategorien für Höchstwerte der Kornformkennzahl

Kornformkennzahl	Kategorie SI
≤ 15	SI ₁₅
≤ 20	SI ₂₀
≤ 40	SI ₄₀
≤ 55	SI ₅₅
> 55	SI _{angeben}
Keine Anforderung	SI _{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.5.5 Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen

Soweit gefordert, muss der nach DIN EN 933-7 bestimmte Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen entsprechend der zutreffenden in nachfolgender Tabelle je nach Art der Verwendung festgelegten Kategorie angegeben werden.

Kategorien für den Höchstwert des Muschelschalengehaltes grober Gesteinskörnungen

Muschelschalengehalt %	Kategorie SC
≤ 10	SC ₁₀
> 10	SC _{angeben}
Keine Anforderung	SC _{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.5.6 Feinanteile

2.5.6.1 Gehalt an Feinanteilen

Der nach DIN EN 933-1 bestimmte Gehalt an Feinanteilen muss entsprechend der zutreffenden in nachfolgender Tabelle festgelegten Kategorie angegeben werden. Bei Füllern (Gesteinsmehlen) muss der Gehalt an Feinanteilen den Anforderungen von Tabelle 2.5.2.4 entsprechen.

Kategorien für Höchstwerte des Gehalts an Feinanteilen

Gesteinskörnung	Siebdurchgang durch das 0,063-mm-Sieb Massenanteil in Prozent	Kategorie f
Grobe Gesteinskörnung	$\leq 1,5$	$f_{1,5}$
	≤ 4	f_4
	> 4	$f_{\text{angegeben}}$
	keine Anforderung	f_{NR}
Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 mm	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	> 16	$f_{\text{angegeben}}$
	keine Anforderung	f_{NR}
Korngemisch	≤ 3	f_3
	≤ 11	f_{11}
	> 11	$f_{\text{angegeben}}$
	keine Anforderung	f_{NR}
Feine Gesteinskörnung	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	> 22	$f_{\text{angegeben}}$
	keine Anforderung	f_{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.5.6.2 Beurteilung von Feinanteilen

Feinanteile sind als nicht schädlich zu betrachten, wenn eine der folgenden vier Bedingungen zutrifft:

- Der Gesamtgehalt an Feinanteilen in der feinen Gesteinskörnung ist kleiner als 3 % Massenanteil oder als ein anderer Wert, der aufgrund der am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften gültig ist;
- der Sandäquivalent-Wert (SE) überschreitet bei Prüfung nach DIN EN 933-8 einen bestimmten unteren Grenzwert;
- die Prüfung nach dem Methylen-Blau-Verfahren nach DIN EN 933-9 ergibt einen Wert (MB), der kleiner ist als ein bestimmter Grenzwert;
- ein Leistungsvergleich mit bekannten, zufriedenstellenden Gesteinskörnungen liegt vor, oder es besteht der Beweis zufriedenstellender, problemloser Verwendung.

Den Übereinstimmungskriterien für Ergebnisse von Sandäquivalent- und Methylen-Blau-Prüfungen für die 0/2-mm-Fraktion muss normalerweise eine Wahrscheinlichkeit von 90 % zugrunde gelegt werden.

ANMERKUNG: Genaue Grenzwerte können noch nicht allgemein gültig festgelegt werden; hierzu sind weitere Erfahrungen mit der Anwendung der Prüfmethoden auf die in verschiedenen Teilen Europas vorkommenden feinen Gesteinskörnungen erforderlich.

Die Grenzwerte und/oder Kategorien sollten unter Berücksichtigung der Erfahrungen mit bestehenden Anforderungen an Materialien festgelegt werden, deren ortsübliche Verwendungen entsprechend der am Einsatzort geltenden Vorschriften zufrieden stellend sind.

2.6 Physikalische Anforderungen an Gesteinskörnungen

Welche der festgelegten Eigenschaften notwendigerweise zu prüfen sind, hängt von der vorgesehenen Art der Verwendung und der Herkunft der Gesteinskörnung ab. Falls es verlangt wird, müssen die vorgesehenen Prüfungen herangezogen werden, um die entsprechenden physikalischen Eigenschaften zu bestimmen.

2.6.1 Widerstand gegen Zertrümmerung

2.6.1.1 Los Angeles-Koeffizient (LA)

Der **Los Angeles-Koeffizient** wird bestimmt nach DIN EN 1097-2:1998-06, Abschnitt 5 (Widerstand gegen Zertrümmerung), Kategorien für Höchstwerte LA siehe nachfolgende Tabelle.

Kategorien für Höchstwerte von Los Angeles-Koeffizienten

Los Angeles-Koeffizient	Kategorie LA
≤ 15	LA ₁₅
≤ 20	LA ₂₀
≤ 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀
≤ 35	LA ₃₅
≤ 40	LA ₄₀
≤ 50	LA ₅₀
> 50	LA _{angeben}
Keine Anforderung	LA _{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.6.1.2 Schlagzertrümmerungswert (SZ)

Der **Schlagzertrümmerungswert** wird bestimmt nach DIN EN 1097-2:1998-06, 6 Kategorien für Höchstwerte SZ (siehe nachfolgende Tabelle).

Kategorien für Höchstwerte des Widerstands gegen Schlagzertrümmerung

Schlagzertrümmerungswert %	Kategorie SZ
≤ 18	SZ ₁₈
≤ 22	SZ ₂₂
≤ 26	SZ ₂₆
≤ 32	SZ ₃₂
> 32	SZ _{angeben}
Keine Anforderung	SZ _{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.6.2 Widerstand gegen Verschleiß von groben Gesteinskörnungen (Micro-Deval-Koeffizient, M_{DE})

Der Widerstand gegen Verschleiß von groben Gesteinskörnungen (Micro-Deval-Koeffizient, M_{DE}) wird nach DIN EN 1097-1 bestimmt. Der Micro-Deval-Koeffizient muss entsprechend der zutreffenden in nachfolgender Tabelle je nach Art der Verwendung festgelegten Kategorie angegeben werden.

Kategorien für Höchstwerte des Widerstandes gegen Verschleiß

Micro-Deval-Koeffizient	Kategorie M _{DE}
≤ 10	M _{DE} 10
≤ 15	M _{DE} 15
≤ 20	M _{DE} 20
≤ 25	M _{DE} 25
≤ 35	M _{DE} 35
> 35	M _{DE, angeben}
Keine Anforderung	M _{DE} NR

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.6.3 Widerstand gegen Polieren und Abrieb von groben Gesteinskörnungen zur Verwendung in Deckschichten

2.6.3.1 Widerstand gegen Polieren (Polishing Stone Value - PSV)

Er wird bestimmt nach DIN EN 1097-8. Die Kategorien für die Mindestwerte gegen Polieren sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Kategorien für die Mindestwerte des Widerstandes gegen Polieren

Polierwert	Kategorie PSV
≥ 68	PSV ₆₈
≥ 62	PSV ₆₂
≥ 56	PSV ₅₆
≥ 50	PSV ₅₀
≥ 44	PSV ₄₄
Zwischenwerte und solche < 40	PSV _{angeben}
Keine Anforderung	PSV _{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.6.3.2 Widerstand gegen Oberflächenabrieb AAV (Aggregate Abrasion Value - AAV)

Er wird bestimmt nach DIN EN 1097-8, Anhang A. Die Kategorien für die Höchstwerte sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Kategorien für Höchstwerte des Widerstandes gegen Oberflächenabrieb

Abriebwert der Gesteinskörnung	Kategorie AAV
≤ 10	AAV ₁₀
≤ 15	AAV ₁₅
≤ 20	AAV ₂₀
Zwischenwerte und solche > 35	AAV _{angeben}
Keine Anforderung	AAV _{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.6.4 Kornrohichte und Wasseraufnahme

Soweit gefordert, müssen die Kornrohichte und die Wasseraufnahme nach DIN EN 1097-6 bestimmt und die Ergebnisse auf Anfrage angegeben werden, wobei die zu deren Bestimmung verwendeten Mittel und die angewendeten Berechnungsverfahren anzugeben sind.

2.6.5 Schüttdichte

Die Schüttdichte wird nach DIN EN 1097-3 bestimmt. Die Ergebnisse müssen auf Anfrage angegeben werden.

2.6.6 Dauerhaftigkeit

2.6.6.1 Frost- und Tau-Widerstand von groben Gesteinskörnungen

Falls für einen Beton, der in Umgebungsbedingungen mit Frost-Tau-Wechseln verwendet werden soll, frostwiderstandsfähige Gesteinskörnungen verlangt werden, muss der nach DIN EN 1367-1 oder DIN EN 1367-2 bestimmte Frostwiderstand entsprechend der zutreffenden in DIN EN 12620 festgelegten Kategorie angegeben werden.

ANMERKUNG: Hinweise zur Verwendung von Gesteinskörnungen in Umgebungsbedingungen mit Frost-Tau-Wechseln enthält der Anhang F, DIN EN 12620. Hinweise zur Beurteilung des Frost-Tau-Widerstandes anhand des Wasseraufnahmewertes sind in F.2.3, DIN EN 12620 enthalten.

Die Kategorien für den Frost-Tau-Widerstand und für die Magnesiumsulfat-Widerstandsfähigkeit sind in den nachfolgenden Tabellen aufgeführt.

Kategorien für Höchstwerte des Frost-Tau-Widerstandes

Frost-Tau-Widerstand Masseverlust in Prozent¹⁾	Kategorie F
≤ 1	F ₁
≤ 2	F ₂
≤ 4	F ₄
> 4	F _{angeben}
Keine Anforderung	F _{NR}

¹⁾ In extremen Situationen von kaltem Wetter und/oder einer Sättigung mit Salz- oder Tau-mittellösung kann es sinnvoller sein, Prüfungen unter Verwendung einer Salzlösung oder Urea, wie in DIN EN 1367-1, 1999, Anhang B, beschrieben, durchzuführen. Die Grenzwerte dieser Tabelle sind dann nicht anwendbar.

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U
(Expositionsklassen XF1-4 gesonderte Anforderungen)

Kategorien für die Magnesiumsulfat-Widerstandsfähigkeit

Magnesiumsulfat-Wert Masseverlust in Prozent	Kategorie MS
≤ 18	MS ₁₈
≤ 25	MS ₂₅
≤ 35	MS ₃₅
> 35	MS _{angeben}
Keine Anforderung	MS _{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U
(Expositionsklassen XF1-4 gesonderte Anforderungen)

2.6.6.2 Raumbeständigkeit – Schwinden infolge Austrocknen

Wo es infolge bestimmter Gesteinskörnungseigenschaften im Beton zum Auftreten zerstörender Schwindrisse kommt, darf, falls der Nachweis verlangt wird, das Trocknungsschwinden von Gesteinskörnungen, die in Konstruktionsbeton verwendet werden sollen, bei Prüfung nach DIN EN 1367-4 den Wert von 0,075 % nicht überschreiten und müssen die Ergebnisse angegeben werden.

ANMERKUNG: Diese Anforderung trifft nicht auf Umgebungsbedingungen zu, unter denen es nie zum Austrocknen kommt, und auch nicht auf Massenbeton mit einer Deckschicht aus Luftporenbeton oder auf Bauteile, die symmetrisch und stark bewehrt und keiner Witterung ausgesetzt sind.

2.6.6.3 Alkali-Kieselsäure-Reaktivität (AKR-Richtlinie)

Soweit gefordert, muss die Alkali-Kieselsäure-Reaktivität von Gesteinskörnungen in Übereinstimmung mit den am Verwendungsort der Gesteinskörnung geltenden Vorschriften bestimmt und müssen die Ergebnisse angegeben werden.

Auswirkung auf die Dauerhaftigkeit von Betonen

Bestimmte Gesteinskörnungen können mit den in der Porenflüssigkeit des Betons vorhandenen Alkalihydroxiden reagieren. Unter ungünstigen Bedingungen und in Anwesenheit von Feuchtigkeit kann dies zu Treiberscheinungen und nachfolgender Rissbildung oder Zerstörung des Betons führen. Die häufigste Form dieser Reaktion tritt zwischen Alkalien und bestimmten Formen der Kieselsäure auf (Alkali-Kieselsäure-Reaktion).

In Deutschland wurden durch die Einführung der DIN 1045-2/A2 in Verbindung mit der überarbeiteten Alkali-Richtlinie (Ausgabe Februar 2007) Regelungen zur Beurteilung von Gesteinskörnungen geschaffen. Künftig müssen die Hersteller von Gesteinskörnungen die Alkaliempfindlichkeitsklasse aller Lieferkörnungen angeben. Der Betonhersteller muss darauf aufbauend die entsprechende Feuchtigkeitsklasse für jeden Beton nach DAfStb-Richtlinie ergänzend auf den Lieferdokumenten angeben. Die Einzelheiten der Alkali-Richtlinie werden im folgenden Kapitel beschrieben.

DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“ Teil 1-3 (Ausgabe Februar 2007)

Allgemeines

Anwendungsbereich der Richtlinie sind die Gesteinskörnungsnormen DIN EN 12620, DIN V 20000-103 sowie DIN 4226-100 in Verbindung mit der DAfStb-Richtlinie für „Rezyklierte Gesteinskörnungen“.

Sofern nicht eine Einstufung in die Alkaliempfindlichkeitsklasse E III erfolgt, ist die Prüfung, Einstufung und Überwachung für alle Gesteinskörnungen nach dieser Richtlinie erforderlich. Die Einstufung hat alle 3 Jahre zu erfolgen.

Sofern eine Gesteinskörnung nicht aus den Gewinnungsgebieten nach Abschnitt 2 stammt und keine anderen in der Richtlinie genannten alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen enthält und es zu keiner schädigenden Alkali-Kieselsäurereaktion gekommen ist, ist diese in die Alkaliempfindlichkeitsklasse E I einzustufen.

Wenn für andere Gesteinskörnungen oder bei Neuaufschlüssen aufgrund von Bauwerksuntersuchungen eine Alkaliempfindlichkeit nachgewiesen wurde, oder ein begründeter Verdacht besteht, ist die Gesteinskörnung nach Teil 3, Abschnitt 5 der Richtlinie zu prüfen.

Die Richtlinie enthält auch die in bestimmten Fällen zu beachtenden zusätzlichen Anforderungen an Betonzusatzmittel, Betonzusatzstoffe und Zement.

Anhand der zu erwartenden Umwelteinflüsse hat die ausschreibende Stelle im Leistungsverzeichnis die Betonbauteile eine der nachfolgenden Feuchtigkeitsklassen zuzuordnen:

WO	Beton, der nach normaler Nachbehandlung nicht längere Zeit feucht und nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt.	<ul style="list-style-type: none"> - Innenbauteile des Hochbaus; - Bauteile, auf die Außenluft, nicht jedoch z.B. Niederschläge, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken können und/oder die nicht ständig einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80 % ausgesetzt werden.
WF	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist.	<ul style="list-style-type: none"> - Ungeschützte Außenbauteile, die z.B. Niederschlägen, Oberflächenwasser oder Bodenfeuchte ausgesetzt sind; - Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, wie z.B. Hallenbäder, Wäschereien und andere gewerbliche Feuchträume, in denen die relative Luftfeuchte überwiegend höher als 80 % ist; - Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung, wie z.B. Schornsteine, Wärmeüberträgerstationen, Filterkammern und Viehställe; - Massige Bauteile gemäß DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“, deren kleinste Abmessung 0,80 m überschreitet (unabhängig vom Feuchtezutritt).

WA	Beton, der zusätzlich zu der Beanspruchung nach Klasse WF häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt wird.	<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 hoher dynamischer Beanspruchung und direktem Alkalieintrag ausgesetzt ist.	<ul style="list-style-type: none"> - Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z.B. Betonfahrbahnen)

ANMERKUNG: Feuchtigkeitsklasse „Feucht + Alkalizufuhr von außen + starke dynamische Beanspruchung“ (WS)

Die Beschreibung der Feuchtigkeitsklasse WS wurde in das System der Expositionsklassen nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 übernommen und kann grundsätzlich weiter verwendet werden. Der Feuchtigkeitsklasse WS werden Betonfahrbahnen der Bauklassen SV und I bis III gemäß RStO zugeordnet. Anforderungen an die Betonzusammensetzung, die sich aus den vorbeugenden Maßnahmen für diese Feuchtigkeitsklasse nach Teil 3 der Richtlinie, Abschnitt 3, ergeben, werden dagegen über diese Berichtigung außer Kraft gesetzt. Für die Festlegung der vorbeugenden Maßnahmen sind die TL Beton-StB sowie die Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau des BMVBS zu beachten.

Gesteinskörnungen mit Opalsandstein und Flint

Für die Gesteinskörnungen aus folgendem Gewinnungsgebiet ist Teil 2 der Richtlinie anzuwenden. Die Kieselkreide wird hier dem Opalsandstein zugeordnet und nicht gesondert aufgeführt.



Die Gesteinskörnung ist nach Abschnitt 4 über eine Erstprüfung in je eine der Alkaliempfindlichkeitsklassen einzustufen und zu überwachen. Die Prüfung hat nach Abschnitt 5 der Richtlinie zu erfolgen.

Um die richtigen vorbeugenden Maßnahmen bei der Herstellung von Beton mit alkaliempfindlichen Bestandteilen in den Gesteinskörnungen ergreifen zu können, werden diese in Alkaliempfindlichkeitsklassen eingeteilt und entsprechend beurteilt.

Opalsandsteinhaltige Gesteinskörnung:

- E I-O unbedenklich hinsichtlich Alkalireaktion durch Opalsandstein einschließlich Kieselkreide
- E II-O bedingt brauchbar hinsichtlich Alkalireaktion durch Opalsandstein einschließlich Kieselkreide
- E III-O bedenklich hinsichtlich Alkalireaktion durch Opalsandstein einschließlich Kieselkreide

Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen mit Opalsandstein einschließlich Kieselkreide bei Prüfung nach Teil 2, Abschnitt 5 „Alkali-Richtlinie“

Bestandteile	Grenzwerte in M.-% für die Alkaliempfindlichkeitsklassen		
	E I-O	E II-O	E III-O
Opalsandstein einschließlich Kieselkreide (über 1 mm) ^{*)}	≤ 0,5	≤ 2,0	> 2,0

^{*)} In den Prüfkornklassen 1 bis 4 mm einschließlich reaktionsfähigem Flint

Opalsandsteinhaltige und flinthaltige Gesteinskörnung:

- E I-OF unbedenklich hinsichtlich Alkalireaktion durch Opalsandstein und Flint einschließlich Kieselkreide
- E II-OF bedingt brauchbar hinsichtlich Alkalireaktion durch Opalsandstein und Flint einschließlich Kieselkreide
- E III-OF bedenklich hinsichtlich Alkalireaktion durch Opalsandstein und Flint einschließlich Kieselkreide

Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen mit Opalsandstein einschließlich Kieselkreide bei Prüfung nach Teil 2, Abschnitt 5 „Alkali-Richtlinie“

Bestandteile	Grenzwerte in M.-% für die Alkaliempfindlichkeitsklassen		
	E I-OF	E II-OF	E III-OF
Opalsandstein einschließlich Kieselkreide (über 1 mm) ^{*)}	≤ 0,5	≤ 2,0	> 2,0
Reaktionsfähiger Flint (über 4 mm)	≤ 3,0	≤ 10,0	> 10,0
5 x Opalsandstein einschließlich Kieselkreide und reaktionsfähiger Flint	≤ 4,0	≤ 15,0	> 15,0

^{*)} In den Prüfkornklassen 1 bis 4 mm einschließlich reaktionsfähigem Flint

Die vorbeugenden Maßnahmen sind auf den folgenden Tabellen beschrieben und richten sich nach der Feuchtigkeitsklasse, der Alkaliempfindlichkeitsklasse und ist außerdem abhängig von der Betonzusammensetzung.

Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton für Betone mit einem Zementgehalt $z \leq 330 \text{ kg/m}^3$

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Erforderliche Maßnahmen für die Feuchtigkeitsklasse			
	WO	WF	WA	WS
E I-O	keine	keine	keine	Zement nach Tabelle Seite 147
E II-O	keine	keine	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung
E III-O	keine	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung	Austausch der Gesteinskörnung

Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton für Betone mit einem Zementgehalt $z > 330 \text{ kg/m}^3$

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Erforderliche Maßnahmen für die Feuchtigkeitsklasse			
	WO	WF	WA	WS
E I-OF	keine	keine	keine	Zement nach Tabelle Seite 147
E II-OF	keine	NA-Zement	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung
E III-OF	keine	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung	Austausch der Gesteinskörnung

Gebrochene alkaliempfindliche Gesteinskörnungen

In Teil 3 der Alkali-Richtlinie werden Anforderungen, Prüfung und Überwachung für folgende Gesteinskörnungen definiert:

- gebrochene Grauwacken;
- gebrochener Quarzporphyr (Rhyolith);
- gebrochener Kies des Oberrheins;
- rezyklierte Gesteinskörnungen;
- Kiese, die mehr als 10 M.-% gebrochene Anteile der zuvor aufgeführten Gesteinskörnungen enthalten;
- andere gebrochene Gesteinskörnungen, die nach Abschnitt 1.2 der Richtlinie nicht als unbedenklich eingestuft werden können;
- gebrochene Gesteinskörnungen, mit denen im Geltungsbereich der Richtlinie keine baupraktischen Erfahrungen vorliegen.

Für eine zuverlässige mineralogische und petrographische Beurteilung des Gefährdungspotentials der vorgenannten Gesteinskörnungen liegen derzeit noch keine gesicherten Erkenntnisse vor. Deshalb wird ein Schnellprüfverfahren nach Abschnitt 5 vorgeschrieben. Wird diese Prüfung nicht bestanden, so kann eine weitere Untersuchung der Betonzusammensetzung in der Nebelkammer (40 °C) angeschlossen werden.

Die Gesteinskörnungen sind dann in Abhängigkeit der Ergebnisse einer der folgenden Alkaliempfindlichkeitsklassen zuzuordnen:

- E I-S unbedenklich hinsichtlich Alkalireaktion der zuvor genannten Gesteinskörnungen
- E III-S bedenklich hinsichtlich Alkalireaktion der zuvor genannten Gesteinskörnungen

ANMERKUNG: Eine Alkaliempfindlichkeitsklasse E II-S wird derzeit nicht definiert, da die bisherigen Ergebnisse eine weitergehende Differenzierung noch nicht zulassen.

Anhand der Prüfung der Gesteinskörnung durch das Schnellprüfverfahren kann durch Bestimmung der Dehnung der Mörtelprismen eine Zuordnung zu der Alkaliempfindlichkeitsklasse erfolgen.

Grenzwerte der Dehnung für die Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen gemäß Abschnitt 1 mit dem Prüfverfahren nach Abschnitt 5.2

Kriterium	Alkaliempfindlichkeitsklasse	
	E I-S	Keine Bewertung ¹⁾
Grenzwerte für die Dehnung ϵ der Mörtelprismen nach 13 Tagen in mm/m	$\epsilon \leq 1,0$	$\epsilon > 1,0$

¹⁾ Zur Bewertung kann ein Betonversuch nach Abschnitt 5.3 angeschlossen werden.

Besteht die Gesteinskörnung das Schnellprüfverfahren nicht, so kann ein Betonversuch in der Nebelkammer angeschlossen werden. Dabei muss die Dehnung des Betons an Balken und die Rissbildung an Betonwürfeln beurteilt werden.

Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen nach Abschnitt 1 bei Prüfung mit dem Prüfverfahren nach Abschnitt 5.3

Kriterium	Alkaliempfindlichkeitsklasse ¹⁾	
	E I-S	E III-S
Grenzwerte für die Dehnung der Betonbalken in mm/m ²⁾	$\epsilon \leq 0,6$	$\epsilon > 0,6$
Rissbildung der Würfel	keine	stark ³⁾

¹⁾ Maßgebend ist die jeweils ungünstigere Bewertung.

²⁾ Nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung einschließlich Wärme- und Feuchtedehnung.

³⁾ Mit Rissbreiten $w \geq 0,2$ mm.

In Abhängigkeit der Alkaliempfindlichkeitsklasse, der Feuchtigkeitsklasse und der Betonzusammensetzung sind folgende vorbeugende Maßnahmen erforderlich.

Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton bei Verwendung von Gesteinskörnungen nach Teil 3

Alkali-empfindlichkeitsklasse	Zement-gehalt kg/m ³	Erforderliche Maßnahmen für die Feuchtigkeitsklasse			
		WO	WF	WA	WS
E I-S	ohne Festlegung	keine	keine	keine	Zemente nach Tabelle S. 147
E III-S ¹⁾	$z \leq 300$	keine	keine	keine	Zemente nach Tabelle S. 147
	$300 < z \leq 350$	keine	keine	Performance Prüfung ²⁾ oder NA-Zement	Zemente nach Tabelle S. 147 sowie Austausch der Gesteinskörnung oder Gutachten ³⁾
	$z > 350$	keine	Performance Prüfung ²⁾ oder NA-Zement	Performance Prüfung ²⁾ oder Austausch der Gesteinskörnung	Zemente nach Tabelle S. 147 sowie Austausch der Gesteinskörnung oder Gutachten ³⁾

¹⁾ Gilt auch für nicht beurteilte Gesteinskörnungen.

²⁾ Die Performance Prüfung wird in einem zukünftigen Teil 4 der Richtlinie beschrieben werden. Bis auf Weiteres erfolgt die Festlegung von vorbeugenden Maßnahmen auf Grundlage eines Gutachtens³⁾.

³⁾ Für die Erstellung von Gutachten sind besonders fachkundige Personen einzuschalten.

Bei der Alkaliempfindlichkeitsklasse WS sind zusätzlich Anforderungen an den Alkaligehalt des Zementes definiert.

Höchstzulässige charakteristische Werte des Alkaligehaltes von Zementen für Bauteile in der Feuchtigkeitsklasse WS

Zement	Hüttensand- gehalt	Alkaligehalt des Zementes	Alkaligehalt des Zementes ohne Hüttensand bzw. Ölschiefer
	M.-%	Na₂O-Äquivalent in M.-%	Na₂O-Äquivalent in M.-%
CEM I + CEM II/A	–	≤ 0,80	–
CEM II/B-T	–	–	≤ 0,90
CEM II/B-S	21 bis 29	–	≤ 0,90
CEM II/B-S	30 bis 35	–	≤ 1,00
CEM III/A	36 bis 50	–	≤ 1,05

2.7 Chemische Anforderungen an Gesteinskörnungen

Welche der festgelegten Eigenschaften notwendigerweise zu prüfen und anzugeben sind, hängt von der vorgesehenen Art der Anwendung und der Herkunft der Gesteinskörnung ab. Falls dies verlangt wird, müssen die vorgesehenen Prüfungen durchgeführt werden, um die entsprechenden chemischen Eigenschaften zu bestimmen.

2.7.1 Chloride

Soweit gefordert, muss der Gehalt an wasserlöslichen Chlorid-Ionen von Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 1744-1:1998, Abschnitt 7, bestimmt und vom Hersteller auf Anfrage angegeben werden.

ANMERKUNG: Wenn bekannt ist, dass der wasserlösliche Chlorid-Ionen-Gehalt der zusammengefügteten Gesteinskörnungen 0,01 % oder weniger beträgt (z. B. für Gesteinskörnungen aus den meisten binnenländischen Vorkommen), darf dieser Wert für die Berechnung des Chloridgehalts von Beton verwendet werden.

Nach DIN 1045-2, Anhang U beträgt die Regelanforderung für den Chloridgehalt $\leq 0,04$ % Massenanteil.

2.7.2 Schwefelhaltige Bestandteile

2.7.2.1 Säurelösliches Sulfat

Soweit gefordert, soll der nach DIN EN 1744-1:1998, Abschnitt 12, bestimmte säurelösliche Sulfatgehalt der Gesteinskörnungen und Füller (Gesteinsmehle) für Beton entsprechend der nachfolgenden Tabelle enthaltenen Kategorien angegeben werden.

Kategorien für Höchstwerte säurelöslicher Sulfatgehalte

Gesteinskörnung	Säurelöslicher Sulfatgehalt in Massenanteil %	Kategorie AS
Alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstückschlacken	$\leq 0,2$	AS _{0,2}
	$\leq 0,8$	AS _{0,8}
	$> 0,8$	AS _{angegeben}
	keine Anforderung	AS _{NR}
Hochofenstückschlacken	$\leq 1,0$	AS _{1,0}
	$> 1,0$	AS _{angegeben}
	keine Anforderung	AS _{NR}

Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U

2.7.2.2 Gesamtschwefel

Soweit gefordert, darf der nach DIN EN 1744-1:1998, Abschnitt 11, bestimmte Gesamt-Schwefelgehalt der Gesteinskörnungen und Füller (Gesteinsmehle) die folgenden Werte nicht überschreiten (Regelanforderung nach DIN 1045-2, Anhang U):

- 2 % Massenanteil S für Hochofenstückschlacken;
- 1 % Massenanteil S für Gesteinskörnungen außer Hochofenstückschlacken.

Wenn in der Gesteinskörnung Pyrrhotin (eine nichtstabile Form von Eisensulfid FeS) vorhanden ist, sind besondere Vorsichtsmaßnahmen notwendig. Falls das Vorhandensein dieses Minerals bekannt ist, muss als Höchstwert für den Gesamt-Schwefelgehalt 0,1 % Massenanteil zugrunde gelegt werden.

2.7.3 Andere Bestandteile

2.7.3.1 Bestandteile, die das Erstarrungs- und Erhärungsverhalten des Betons verändern

Gesteinskörnungen und Füller (Gesteinsmehle), die organische oder andere Stoffe in solchen Mengen enthalten, dass das Erstarrungs- und Erhärungsverhalten des Betons verändert wird, sind hinsichtlich der Auswirkung auf die Erstarrungszeit und die Druckfestigkeit nach DIN EN 1744-1:1998, 15.3 zu beurteilen.

Der Anteil solcher Stoffe darf höchstens so sein, dass

- die Erstarrungszeit von Mörtelprüfkörpern um nicht mehr als 120 min verlängert wird;
- die Druckfestigkeit von Mörtelprüfkörpern im Alter von 28 Tagen um nicht mehr als 20 % vermindert wird.

Das Vorhandensein organischer Stoffe muss nach DIN EN 1744-1:1998, 15.1 (Bestimmung des Humusgehaltes) bestimmt werden. Wenn die Ergebnisse einen hohen Humusgehalt anzeigen, muss das Vorhandensein von Fulvosäuren nach DIN EN 1744-1:1998, 15.2 bestimmt werden. Wenn bei diesen Prüfverfahren die überstehende Flüssigkeit heller ist als die Standardfarben, ist davon auszugehen, dass die Gesteinskörnungen frei von organischen Stoffen sind.

ANMERKUNG 1: Einige anorganische Verbindungen, die die überstehende Flüssigkeit bei der Prüfung auf Humusgehalt verfärben, beeinträchtigen das Erstarrungs- und Erhärungsverhalten von Beton nicht.

ANMERKUNG 2: Zucker beeinflusst die Farbe der überstehenden Flüssigkeit weder bei der Prüfung auf Humusgehalt noch bei der Prüfung auf Fulvosäure. Falls vermutet wird, dass Zucker oder zuckerähnliche Stoffe vorhanden sind, sollte die Gesteinskörnung unter Verwendung von Mörtelprüfkörpern geprüft werden (siehe DIN EN 1744-1:1998, 15.3). Dabei sollten die oben angegebenen Anforderungen an die Erstarrungszeit und die Druckfestigkeit zugrunde gelegt werden.

Soweit gefordert, muss nach DIN EN 1744-1:1998, 14.2 auf das Vorhandensein von leichtgewichtigen organischen Verunreinigungen geprüft und müssen die Ergebnisse angegeben werden.

Nach DIN 1045-2, Anhang U geben die Regelanforderungen für leichtgewichtige organische Verunreinigungen den maximal zulässigen prozentualen Massenanteil an.

- 0,5 % Massenanteil für feine Gesteinskörnung
- 0,1 % Massenanteil für grobe Gesteinskörnungen, natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 und Korngemisch

2.7.3.2 Bestandteile, die die Raumbeständigkeit von Hochofenstückschlacken beeinflussen

Gesteinskörnungen aus Hochofenstückschlacken dürfen bei Prüfung nach DIN EN 1744-1:1998-05, 19.1 keinen Zerfall von Dicalciumsilicat aufweisen.

Gesteinskörnungen aus Hochofenstückschlacken dürfen bei Prüfung nach DIN EN 1744-1:1998-05, 19.2 keinen Eisenzerfall aufweisen.

2.7.3.3 Carbonatgehalt von feinen Gesteinskörnungen für Deckschichten aus Beton

Soweit gefordert wird, den Carbonatgehalt feiner Gesteinskörnungen, die in Deckschichten aus Beton verwendet werden sollen, zu überwachen, muss der Carbonatgehalt nach DIN EN 196-21:1989, Abschnitt 5, bestimmt werden, wobei die Probenmenge nach DIN EN 1744-1:1998, 12.3, vorzubereiten ist, und müssen die Ergebnisse angegeben werden.

2.8 Regelanforderungen für Gesteinskörnungen

Für die Verwendung in Beton nach DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 gelten in der Regel Gesteinskörnungen als geeignet, die den in der folgenden Tabelle aufgeführten Anforderungen nach DIN EN 12620 entsprechen:

Eigenschaft	Regelanforderung
Kornzusammensetzung	G _C 85/20
- Grobe Gesteinskörnungen mit $D/d \leq 2$ oder $D \leq 11,2$	
- Feine Gesteinskörnungen	Toleranzen nach DIN EN 12 620:2008-07, Tabelle 4
- Korngemische	GA ₉₀
Kornform	Fl ₅₀ oder Sl ₅₅
Muschelschalengehalt	SC ₁₀
Feinanteile	f _{1,5}
- Grobe Gesteinskörnung	
- Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8	f ₃
- Korngemisch	f ₃
- Feine Gesteinskörnung	f ₃
Widerstand gegen Zertrümmerung	LA _{NR} oder SZ _{NR}
Widerstand gegen Verschleiß von groben Gesteinskörnungen	M _{DENR}

Eigenschaft	Regelanforderung
Widerstand gegen Polieren	PSV _{NR}
Widerstand gegen Oberflächenabrieb	AAV _{NR}
Widerstand gegen Abrieb durch Spike-Reifen	A _N NR
Frost-Tau-Widerstand	F ₄ , F ₂ für XF3
Magnesiumsulfat-Widerstandsfähigkeit	MS _{NR}
Magnesiumsulfat-Widerstandsfähigkeit ¹⁾	MS ₂₅ für XF2, MS ₁₈ für XF4
Chloride	Chloridgehalt ≤ 0,04 %
Chloride ²⁾	Chloridgehalt ≤ 0,02 % Massenanteil für Beton mit Spannstahlbewehrung Chloridgehalt ≤ 0,15 % Massenanteil für Beton ohne Betonstahlbewehrung oder anderes eingebettetes Metall
Säurelösliches Sulfat für alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstübschlacken	AS _{0,8}
Säurelösliches Sulfat für Hochofenstübschlacken	AS _{1,0}
Gesamtschwefel für alle Gesteinskörnungen außer Hochofenstübschlacken	≤ 1 % Massenanteil
Gesamtschwefel für Hochofenstübschlacken	≤ 2 % Massenanteil
Leichtgewichtige organische Verunreinigungen	
- Feine Gesteinskörnung	≤ 0,5 % Massenanteil
- Grobe Gesteinskörnung, natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 und Korngemisch	≤ 0,1 % Massenanteil

¹⁾ Alternativ Prüfung am Beton möglich nach DIN EN 1367-6

²⁾ Alternativ Chloridgehalt im Beton nachweisen

2.9 Leichte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 13055-1

Als „Leichte Gesteinskörnungen“ bezeichnet man Mischungen mineralischen Ursprungs, die durch Aufbereitung natürlicher, industriell hergestellter und/oder rezyklierter Materialien gewonnen werden und deren Rohdichten nicht mehr als 2.000 kg/m^3 oder Schüttdichten nicht mehr als 1.200 kg/m^3 betragen.

DIN EN 13055-1 regelt die Verwendung folgender Gesteinskörnungen:

- natürliche Gesteinskörnungen: Lava (Lavaschlacke), Naturbims, Tuff;
- aus natürlichen Rohstoffen und/oder aus industriellen Nebenprodukten hergestellte Gesteinskörnungen: Blähglas, Blähglimmer (Vermikulit), Blähperlit, Blähschiefer, Blähton, gesinterte Steinkohlenflugasche-Pellets, Ziegelsplitt aus ungebrauchten Ziegeln;
- industrielle Nebenprodukte: Hüttenbims nach DIN 4301, Kesselsand.

Die Festlegungen dieser Norm folgen in vielen Teilen den Festlegungen, welche für normale Gesteinskörnungen getroffen werden (siehe auch Kapitel 2.4). Deshalb wird in den nachfolgenden Kapiteln nur auf die wichtigsten Abweichungen und zusätzliche Anforderungen eingegangen.

ANMERKUNG: Blähglas, Blähglimmer (Vermikulit), Blähperlit und Kesselsand nach DIN EN 13055-1 dürfen in Spannbeton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-1 und DIN 1045-2 nicht verwendet werden.

Geometrische und physikalische Anforderungen an leichte Gesteinskörnungen

2.9.1 Schüttdichte

Die Schüttdichte muss vom Hersteller nach DIN EN 1097-3 bestimmt und angegeben werden. Sie darf um nicht mehr als $\pm 15\%$ von dem vom Hersteller angegebenen Nennwert abweichen, höchstens jedoch um $\pm 100 \text{ kg/m}^3$.

2.9.2 Kornrohddichte (wirksame)

Falls gefordert, muss die Kornrohddichte nach DIN EN 1097-6:2000, Anhang C bestimmt werden. Sie darf um nicht mehr als $\pm 15\%$ von dem vom Hersteller angegebenen Nennwert abweichen, höchstens jedoch um $\pm 150 \text{ kg/m}^3$.

2.9.3 Kornfestigkeit

Für die Verwendung geeignet sind leichte Gesteinskörnungen, deren Kornfestigkeit nach DIN EN 13055-1, Anhang A oder DIN V 18004:2004-04, 5.4 bestimmt wurde und den deklarierten Sollwert um nicht mehr als 15 % unterschreiten.

2.9.4 Chemische Anforderungen an leichte Gesteinskörnungen

Für die Beurteilung leichter Gesteinskörnungen bezüglich chemischer Anforderungen müssen die Massenanteile der einzelnen Bestandteile umgerechnet werden. Erst die umgerechneten Anteile können mit entsprechenden Grenzwerten verglichen werden.

Die Gleichung dafür lautet:

$$V_c = V_m \cdot \frac{\text{Schüttdichte}}{1.500}$$

Dabei ist

V_c der Vergleichswert;

V_m der nach DIN EN 1744-1 gemessene Wert;

1.500 die angenommene Nennschüttdichte einer Gesteinskörnung normaler Dichte.

2.9.4.1 Chloride

Der Gehalt leichter Gesteinskörnungen an wasserlöslichen Chlorid-Ionen muss nach DIN EN 1744-1:1998, Abschnitt 7, bestimmt und angegeben werden.

2.9.4.2 Organische Bestandteile

Im Beton dürfen leichte Gesteinskörnungen nicht verwendet werden, die nach DIN EN 1744-1, 15.3 bestimmte und angegebene organische oder andere schädliche Bestandteile in solchen Mengen enthalten, dass das Erstarrungs- und Erhärtungsverhalten des Betons verändert wird.

2.10 Regelanforderungen für leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1

Eigenschaft	Anforderung
Unterkorn-Anteil	$\leq 15 \text{ M.-%}$
Überkorn-Anteil	$\leq 10 \text{ M.-%}$
Kornzusammensetzung	$D/d \geq 1,4$
Feinanteile	
- Grobe leichte Gesteinskörnung	$\leq 1,5 \text{ M.-% } f_{1,5}$
- Korngemisch	$\leq 3,0 \text{ M.-% } f_3$
- Feine leichte Gesteinskörnung	$\leq 3,0 \text{ M.-% } f_3$
Chloride	$\leq 0,02 \text{ M.-%}$ für Spannstahlbewehrung $\leq 0,04 \text{ M.-%}$ für Betonstahlbewehrung $\leq 0,15 \text{ M.-%}$ für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall
Säurelösliches Sulfat	$\leq 0,8 \text{ M.-%}$
Gesamtschwefel	$\leq 1,0 \text{ M.-%}$
Glühverlust (Kesselsand)	$\leq 5,0 \text{ M.-%}$
Frost-Tau-Widerstand	
XF1	Abwitterung $\leq 4,0 \text{ M.-%}$ (F4) nach DIN EN 13055-1, Anhang C oder Betonversuch
XF3	Abwitterung $\leq 2,0 \text{ M.-%}$ (F2) nach DIN EN 13055-1, Anhang C oder Betonversuch
XF2/XF4	Abwitterung $\leq 500 \text{ g/m}^2$ nach DIN V 18004, Abschnitt 4

2.11 Wiedergewonnene Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2

Aus Restwasser oder aus Frischbeton wiedergewonnene Gesteinskörnung darf für Beton verwendet werden. Die Korngröße ist in der Regel $\geq 0,25$ mm.

Nicht getrennt aufbereitete wiedergewonnene Gesteinskörnung darf mit höchstens 5 % der Gesamtmenge der Gesteinskörnung zugefügt werden. Wenn die Mengen der wiedergewonnenen Gesteinskörnung mehr als 5 % der Gesamtgesteinskörnung betragen, müssen sie von der gleichen Art wie die Primärgesteinskörnung sein, und die wiedergewonnene Gesteinskörnung muss in Grob- und Feinkorn getrennt sein und die Anforderungen nach DIN EN 12620 erfüllen.

Die wiedergewonnene Gesteinskörnung muss so ausgewaschen sein, dass keine Kornbindung und somit gleichmäßiges Untermischen möglich ist.

2.11.1 Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN 4226-100 und DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100“

- Die DIN 4226-100 gilt für rezyklierte Gesteinskörnungen mit einer Korndichte ≥ 1.500 kg/m³. Die Norm legt zusätzliche Anforderungen gegenüber DIN EN 12620 fest.
- Rezyklierte Gesteinskörnungen, die von Beton aus der Produktion des Betonherstellers stammen, dürfen bis zu einem Anteil von 5 M.-% ohne Einschränkung verwendet werden.
- Laut oben genannter Richtlinie ist die sortenreine Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen der Typen 1 und 2 (siehe dazu Kapitel 2.11.1.1) zur Herstellung und Verarbeitung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 bis zur Druckfestigkeitsklasse C30/37 möglich (Einschränkungen bezüglich Alkali-Kieselsäure-Reaktivität).

- Die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen für Spannbeton und Leichtbeton nach DIN 1045-2 ist nicht zulässig.

2.11.1.1 Liefertypen und stoffliche Zusammensetzung

Entsprechend der stofflichen Zusammensetzung rezyklierter Gesteinskörnungen werden vier Liefertypen unterschieden:

- Typ 1: Betonsplitt/Betonbrechsand;
- Typ 2: Bauwerksplitt/Bauwerkbrechsand;
- Typ 3: Mauerwerksplitt/Mauerwerkbrechsand;
- Typ 4: Mischsplitt/Mischbrechsand.

Stoffliche Zusammensetzung der Liefertypen

Bestandteile	Zusammensetzung Massenanteil in Prozent			
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Beton und Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620	≥ 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⁾	$\leq 0,2$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	≤ 1

¹⁾ Andere mineralische Bestandteile sind zum Beispiel: porosierter Ziegel, Leichtbeton, Porenbeton, haufwerksporiger Beton, Putz, Mörtel, poröse Schlacke, Bimsstein.

²⁾ Fremdbestandteile sind zum Beispiel: Glas, Keramik, NE-Metallschlacke, Stückgips, Gummi, Kunststoff, Metall, Holz, Pflanzenreste, Papier, sonstige Stoffe.

2.11.1.2 Kornrohddichte und Wasseraufnahme

In der nachfolgenden Tabelle sind die Grenzen für die Kornrohddichte nach DIN EN 1097-6 und die Wasseraufnahme nach Anhang D, DIN 4226-100 angegeben.

Kornrohddichte und Wasseraufnahme nach 10 Min. für rezyklierte Gesteinskörnungen

Kornrohddichte und Wasseraufnahme	Rezyklierte Gesteinskörnung			
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Minimale Kornrohddichte kg/m ³	2.000		1.800	1.500
Schwankungsbreite Kornrohddichte kg/m ³	± 150			Keine Anforderung
Maximale Wasseraufnahme nach 10 Min. Massenanteil in Prozent	10	15	20	Keine Anforderung

2.11.1.3 Frostwiderstand

Bei Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen für Beton, der Frost ohne Taumittleinwirkung ausgesetzt ist, müssen diese für die Expositions-klasse XF1 die Anforderungen der Kategorie F₄ und in der Expositions-klasse XF3 die Anforderungen der Kategorie F₂ erfüllen. Die Kategorie F₂ muss an der Gesteinskörnung nachgewiesen werden.

Werden die Anforderungen nicht erfüllt, kann der Nachweis des Frost-widerstandes nach Anhang H, DIN 4226-100 erfolgen.

2.11.1.4 Regelanforderungen

In der nachfolgenden Tabelle sind ausgewählte Regelanforderungen für rezyklierte Gesteinskörnungen aufgeführt. Die Angaben in den Klammern beziehen sich auf die neue Gesteinskörnungsnorm DIN EN 12620.

Regelanforderungen für rezyklierte Gesteinskörnungen

Eigenschaften		Regelanforderungen für	
		Typ 1, 2, 3	Typ 4
Bezeichnung der Korngruppen (Lieferkörnungen)		Grundsiebsatz plus Ergänzungssiebsatz 1	
Korn- zusam- men- setzung	grobe Gesteinskörnungen mit $D/d \leq 2$ oder $D \leq 11,2$ mm	$G_{D85} \left(\begin{array}{c} \text{EN 12620} \\ G_C 85/20 \end{array} \right)$	$G_{D80} \left(\begin{array}{c} \text{EN 12620} \\ G_C 80/20 \end{array} \right)$
	grobe Gesteinskörnungen mit $D/d > 2$ und $D > 11,2$ mm	$G_{D90} \left(\begin{array}{c} \text{EN 12620} \\ G_C 90/15 \end{array} \right)$	
	feine Gesteinskörnungen	Grenzabweichungen einhalten	
	Korngemisch	$G_{D90} \left(\begin{array}{c} \text{EN 12620} \\ G_A 90 \end{array} \right)$	$G_{D85} \left(\begin{array}{c} \text{EN 12620} \\ G_A 85 \end{array} \right)$
Kornform		Sl_{55}	
Fein- anteile	feine Gesteinskörnung	f_{10}	f_{16}
	grobe Gesteinskörnung	f_4	f_4
Säurelösliches Chlorid		$ACl_{0,04}$	$ACl_{0,15}$
Säurelösliches Sulfat		$AS_{0,8}$	keine Anforderung

Für die Eigenschaften LA_{NR} , SZ_{NR} , $M_{DE}NR$, PSV_{NR} , AAV_{NR} , A_{NNR} , F_{NR} , MS_{NR} und die Raumbeständigkeit sind keine Regelanforderungen festgelegt.

2.11.1.5 Bewertung der Inhaltsstoffe

Für den Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen ist der Nachweis der Umweltverträglichkeit notwendig. Angaben über die zu bewertenden Inhaltsstoffe und deren zulässigen Höchstwerte sind im Anhang G, DIN 4226-100 aufgeführt.

2.11.1.6 Herstellung von Beton

Bauteile aus Beton, welche unter Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen bis zu den in nachfolgender Tabelle angegebenen Höchstanteilen hergestellt werden, dürfen nach DIN 1045-1 bemessen werden. Es ist eine erweiterte Erstprüfung durchzuführen.

Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (Vol.-%)

Anwendungsbereich		Gesteinskörnungstyp 1 nach DIN 4226-100	Gesteinskörnungstyp 2 nach DIN 4226-100
Alkalirichtlinie	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2		
WO (trocken)	Carbonatisierung XC1	≤ 45	≤ 35
WF ¹⁾ (feucht)	Kein Korrosionsrisiko X0 Carbonatisierung XC1 bis XC4		
	Frost ohne Taumittel- einwirkung XF1 ¹⁾ und XF3 ¹⁾ und in Beton mit hohem Wasserein- dringwiderstand	≤ 35	≤ 25
	chemischer Wider- stand (XA1)	≤ 25	≤ 25

¹⁾ zusätzliche Anforderungen s. Abschnitt 1, DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100“



Betonzusatzmittel

3. Betonzusatzmittel

Überblick über die Normung der Betonzusatzmittel

DIN EN 934-1	Gemeinsame Anforderungen
DIN EN 934-2	Betonzusatzmittel-Definitionen und Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung
DIN EN 934-3	Zusatzmittel für Mauermörtel
DIN EN 934-4	Zusatzmittel für Einpressmörtel
DIN EN 934-5	Zusatzmittel für Spritzbeton
DIN EN 934-6	Probenahme, Konformitätskontrolle und Bewertung der Konformität

3

3.1 Definition und Anforderungen

Betonzusatzmittel sind flüssige oder pulverförmige Betonzusätze, die durch chemische und/oder physikalische Wirkung die Eigenschaften sowohl des frischen Betons (z.B. höhere Plastizität, bessere Verarbeitbarkeit, erhöhte Pumpfähigkeit, schnellerer Einbau) als auch des erhärteten Betons (z.B. gesteigerte Druck- und Biegezugfestigkeiten, höhere Dichte, bessere Sichtbetonflächen) verändern. Als Volumenanteil des Betons sind sie ohne Bedeutung.

Weiterhin ist für Betonzusatzmittel in DIN EN 206-1/DIN 1045-2, 5.1.1 und 5.1.5 folgendes ausgesagt:

- Betonausgangsstoffe müssen für die Verwendung in Beton geeignet sein.
- Als geeignet gelten Zusatzmittel nach DIN EN 934 (CE-Zeichen) oder Betonzusatzmittel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.
- Chloride, chloridhaltige oder andere, die Stahlkorrosion fördernde Stoffe, dürfen Stahlbeton, Beton und Mörtel, der mit Stahlbeton in Berührung kommt, nicht zugesetzt werden. (DIN 1045-2)

- 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.
- Betonzusatzmittel werden verwendet, um bestimmte Eigenschaften des Betons günstig zu beeinflussen. Da sie jedoch zugleich andere wichtige Eigenschaften ungünstig verändern können und ihre Wirkung von vielen Faktoren (Temperatur, Qualität bzw. Schwankungen bei den Gesteinskörnungen, Zeit, Betonzusammensetzung usw.) abhängt, ist eine Erstprüfung, die die Baustellenbedingungen berücksichtigt, für die entsprechenden Betone Voraussetzung für ihre Anwendung.

Für die Verwendung von Betonzusatzmitteln sind nachfolgende Festlegungen in DIN EN 206-1/DIN 1045-2, 5.2.6 verankert:

- Wird ein Betonzusatzmittel zugegeben, ist die Zugabemenge auf 50 g/kg der Zementmenge begrenzt. Eine höhere Dosierung ist bei entsprechendem Nachweis der Leitungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit möglich. Bei Anwendung mehrerer Betonzusatzmittel darf die insgesamt zugegebene Menge 60 g/kg Zement nicht überschreiten.
- Bei Verwendung von Zement nach DIN 1164-11 oder DIN 1164-12 in Kombination mit mehreren Betonzusatzmitteln unterschiedlicher Wirkungsgruppen ist die Zugabe der Betonzusatzmittel auf 50 g/kg Zement begrenzt (bei hochfestem Beton 70 g/kg Zement)
- Zusatzmittelmengen unter 2 g/kg Zement sind nur erlaubt, wenn sie in einem Teil des Zugabewassers aufgelöst sind.
- Der Wasseranteil flüssiger Betonzusatzmittel ist dem Wassergehalt bei der Bestimmung des Wasserzementwertes zuzurechnen, wenn ihre gesamte Zugabemenge 3 l/m³ verdichteten Betons oder mehr beträgt.

- Für hochfeste Betone ist eine Zugabe eines verflüssigenden Zusatzmittels von maximal 70 g/kg bzw. 70 ml/kg Zement zulässig. Bei Zugabe mehrerer Zusatzmittel gilt eine Obergrenze von insgesamt 80 g/kg bzw. 80 ml/kg Zement.
- Wird mehr als ein Zusatzmittel zugegeben, muss die Verträglichkeit der Zusatzmittel in der Erstprüfung untersucht werden.
- Beton der Konsistenzklassen $\geq S4$, V4 und $\geq F4$ ist mit Fließmitteln herzustellen.

3.2 Wirkungsgruppen und Kennzeichnung¹⁾ von Betonzusatzmitteln

Wirkungsgruppe	Wirkung	Anwendung
Betonverflüssiger (BV)	Verminderung des Wasseranspruchs und/oder Verbesserung der Verarbeitbarkeit	mit CE-Zeichen
Fließmittel (FM)	Verminderung des Wasseranspruchs und/oder Verbesserung der Verarbeitbarkeit zur Herstellung von Beton mit fließfähiger Konsistenz (Fließbeton)	
Luftporenbildner (LP)	Einführung gleichmäßig verteilter kleiner Luftporen zur Erhöhung des Frost- und Frost-Taumittelwiderstandes	
Dichtungsmittel (DM)	Verminderung der kapillaren Wasseraufnahme	
Verzögerer (VZ)	Verzögerung des Erstarrens	
Beschleuniger (BE)	Beschleunigung des Erstarrens und/oder des Erhärtens (Man unterscheidet auch in Erstarrungs- und Erhärtungsbeschleuniger)	
Einpresshilfen (EH)	Verbesserung der Fließfähigkeit, Verminderung des des Wasseranspruchs, Verminderung des Absetzens bzw. Erzielen eines mäßigen Quellens von Einpressmörteln	mit Ü-Zeichen
Stabilisierer (ST)	Verminderung des Absonderns von Anmachwasser (Bluten)	
Recyclinghilfen für Waschwasser (RH)	Wiederverwendung von Waschwasser, das beim Reinigen von Mischfahrzeugen, und Mischern anfällt	
Chromatreduzierer (CR)	Reduktion von Chrom (VI) zu Chrom (III)	
Schaumbildner (SB)	Einführung von Luftporen zur Herstellung eines Schaumbetons bzw. Betons mit porositätem Zementstein	

Wirkungs- gruppe	Wirkung	An- wen- dung
Spritzbeton- beschleuniger (SBE)	Beschleunigen des Erstarrens von Spritzbeton	mit CE- Zeichen
Sedimentations- reduzierer (SR)	Verhinderung des Sedimentierens von Betonbestand- teilen im Frischbeton	mit Ü- Zeichen

¹⁾ Farbkennzeichnung wie farbliche Unterlegung

3.2.1 Betonverflüssiger (BV)

■ Definition:

Betonverflüssiger ist ein Zusatzmittel, das eine Verminderung des Wassergehaltes einer gegebenen Betonmischung ermöglicht, ohne die Konsistenz zu beeinträchtigen, oder ohne Veränderung des Wassergehaltes das Setzmaß/Ausbreitmaß erhöht, oder das gleichzeitig beide Wirkungen hervorruft.

■ Wirkung:

Betonverflüssiger setzen in der Regel die Oberflächenspannung des Anmachwassers herab, wodurch eine bessere Benetzung des Zementkorns erreicht wird. Als Folge hiervon entsteht ein gleichmäßiger, homogener Zementleim, der arm an inneren Reibungskräften ist und eine bessere Verarbeitbarkeit des Betons ergibt.

■ Anwendung:

- Transportbeton
- Betonwaren (grünstandsfester Beton)
- Stahlbeton, Spannbeton
- Wasserundurchlässiger Beton
- Splittbeton (schwierige Gesteinskörnungen)
- Pumpbeton (Verbesserung der Pumpbarkeit)
- Fertigteilherstellung
- Beton für Ingenieurbauten, Sichtbeton

3.2.2 Fließmittel (FM)

■ Definition:

Fließmittel ist ein Zusatzmittel, das eine **erhebliche** Verminderung des Wassergehaltes einer gegebenen Betonmischung ermöglicht, ohne die Konsistenz zu beeinträchtigen, oder ohne Veränderung des Wassergehaltes das Setzmaß/Ausbreitmaß erheblich erhöht, oder das gleichzeitig beide Wirkungen hervorruft.

■ Wirkung:

Fließmittel bewirken eine feine Dispergierung der Zementpartikel. Als Folge hiervon entsteht ein niedrigviskoser, homogener Zementleim, der arm an inneren Reibungskräften ist. Fließmittel ermöglichen eine wesentliche Reduzierung des Wasserzementwertes im Ausgangsbeton.

■ Anwendung:

Fließmittel dürfen sowohl im Werk als auch auf der Baustelle zugegeben werden. Sie werden eingesetzt zur:

- Verbesserung der Verarbeitbarkeit bei gleichem w/z-Wert (geringe bis starke Verflüssigung)
- Reduzierung des w/z-Wertes durch Verringerung des Wassergehaltes bei gleicher Konsistenz
- Verflüssigung **und** Wasserreduzierung.
- Erhöhung der Frühfestigkeit (Fertigteilwerke, frühhochfeste Fließbetone im Straßenbau)
- Zielsichere Herstellung von Beton sehr hoher Festigkeitsklassen
- Betonage von Bauteilen mit sehr eng liegender Bewehrung

Fließbeton sowie Beton mit Fließmitteln ist besonders geeignet für den konstruktiven Ingenieurbau, Stahlbeton, Garagenbau, Transportbeton, Pumpbeton, Betonfertigteile, Sichtbeton, Massenbeton und Betone höherer Festigkeitsklassen.

Bei der gemeinsamen Verwendung von Fließmitteln (ggf. auch BV mit Doppelzulassung) und Luftporenbildnern zur Herstellung von Betonen mit hohem Widerstand gegen Frost- und Taumittelangriff muss für die Kombination die Verträglichkeit und Wirksamkeit nachgewiesen werden.

3.2.3 Luftporenbildner (LP)

■ Definition:

Luftporenbildner sind Betonzusatzmittel, die den Luftgehalt im Frisch- und Festbeton und dadurch den Frost- und Taumittelwiderstand erhöhen sollen. Die Verarbeitbarkeit des Betons kann verbessert und der Wasseranspruch vermindert werden.

■ Wirkung:

Luftporenbildende Zusätze sind Stoffe, die durch hydrophile (wasseranziehende) und hydrophobe (wasserabweisende) Molekülgruppen gekennzeichnet sind. Diese Molekülgruppen sind in der Lage, in Verbindung mit Wasser Mikroluftporen zu bilden. Diese Mikroluftporen erhöhen den Frost- bzw. Frost-Taumittelwiderstand des Betons und bewirken gleichzeitig eine Verbesserung der Verdichtungswilligkeit durch den sogenannten „Kugellagereffekt“.

Ausschlaggebend für einen ausreichenden Frost- bzw. Frost-Taumittelwiderstand sind die im Beton mit diesen Luftporenbildnern erzielten Luftporenkennwerte. Diese Luftporenkennwerte werden maßgeblich vom Gehalt an Mikroluftporen L_{300} und dem Abstandsfaktor AF (kleinster theoretischer Abstand zwischen zwei benachbarten Rändern von Luftporen) bestimmt. Die Forderungen hierzu sind in den nachfolgenden Tabellen enthalten.

Mindest-Luftgehalt des Frischbetons nach ZTV Beton-StB und ZTV-ING

Größtkorn mm	Mittlerer Mindest-Luftgehalt¹⁾ in Vol.-% für Beton der Konsistenz		
	C1 ohne FM oder BV	C2 bzw. F2 und F3 C1 mit FM oder BV²⁾	≥ F4³⁾
8	5,5	6,5 ²⁾	6,5 ²⁾
16	4,5	5,5 ²⁾	5,5 ²⁾
32	4,0	5,0 ²⁾	5,0 ²⁾

¹⁾ Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten

²⁾ Wenn bei der Erstprüfung nachgewiesen wird, dass die Grenzwerte für die Luftporenkennwerte am Festbeton entsprechend Merkblatt eingehalten werden, gilt ein um 1 % niedrigerer Mindest-Luftgehalt. 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 Merkblatt nachzuweisen.

Es gilt ein oberer Grenzwert: Festgelegter Mindestwert + 4% absolut!

Geforderte Luftporenkennwerte nach „Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton“, Ausgabe 2004 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:

	Mikroluftporengehalt L300 Vol.-%	Abstandsfaktor AF mm
Erstprüfung	≥ 1,8	≤ 0,20
Prüfungen am Bauwerk und Kontrollprüfung	≥ 1,5	≤ 0,24

■ **Die Haupteinflussfaktoren auf die Luftporenbildung sind:**

- Konsistenz des Betons (Wassergehalt)
- Betontemperatur
- Mischintensität (Mischdauer, Mischerart)
- Konzentration und Menge des Luftporenbildners
- Zementart
- Mischungszusammensetzung

■ **Anwendung:**

- Betone, die Frost bzw. Taumittel ausgesetzt sind (z.B. Expositionsklassen XF2 bis XF4) wie im Wasser-, Brücken- und Straßenbau, sowie anderen Bereichen (z.B. Kläranlagen usw.)
- Mehlkornarme Betone werden durch Zugabe von LP-Bildnern besser verarbeitbar und neigen weniger zum Bluten

3.2.4 Dichtungsmittel (DM)

■ **Definition:**

Betondichtungsmittel sind Zusatzmittel zum Beton, die die Wasseraufnahme bzw. das Eindringen von Wasser in den Festbeton vermindern sollen.

■ **Wirkung:**

Verminderung der kapillaren Wasseraufnahme

■ **Anwendung:**

- „Innerversiegler“ für Betonwaren
- Verbesserung d. Dichtigkeit, Porenverschluss oder Hydrophobierung

■ **Anmerkung:**

- Bei „Beton mit einem hohen Wassereindringwiderstand“ müssen die Grenzwerte DIN 1045-2, 5.5.3 eingehalten werden.
- Eine geeignete Betonzusammensetzung verbessert die Dichtigkeit eines Betons mehr als der Einsatz eines Dichtungsmittels.

3.2.5 Verzögerer (VZ)

■ Definition:

Verzögerer sind Betonzusatzmittel, die das Erstarren des Betons verzögern sollen und dadurch die Verarbeitbarkeitszeit verlängern.

■ Wirkung:

Der moderne Betonbau ist ohne den Einsatz von Verzögerern nicht mehr vorstellbar. Diese Produkte greifen in den Chemismus der Zementhydratation ein. Der sehr reaktive Portlandzementklinker wird im Zementwerk durch den gezielten Einsatz von Gips- und Anhydritanteilen im Abbindeverhalten gesteuert. Ohne diese Zusätze würde durch die Zugabe von Wasser eine sofortige spontane Reaktion des Calciumaluminates einsetzen. Durch den Gipsanteil wird diese heftige Reaktion abgebremst, indem sich auf den Calciumaluminaten eine Schutzhülle, bestehend aus Ettringit, ausbildet. Es folgt die sogenannte Ruhephase (2 – 4 h) des Zementes, in der es zur Umwandlung des Trisulfates in Monosulfat und zur Diffusion von Wasser durch die Ettringithülle kommt und der Fortgang der Hydratation ermöglicht wird.

Durch den Einsatz von Verzögerern soll diese Ruhephase des Zementes verlängert werden. Die Wirkung der Verzögerer beruht auf der Ausbildung einer zusätzlichen Schutzschicht auf der bestehenden Ettringithülle und einer damit verbundenen Hinauszögerung der beschriebenen Prozesse. Die Art und Weise der Ausbildung dieser zusätzlichen Schutzschicht ist noch nicht bis ins letzte Detail erforscht und wird augenblicklich mit folgenden Arbeitshypothesen erklärt:

- Absorption der verzögernden Substanz an der reaktiven Oberfläche;
- Niederschlag von Reaktionsprodukten des Verzögerers auf der reaktiven Oberfläche;
- Komplexbildung der verzögernd wirkenden Substanz mit Ca-Ionen aus der Zementhydrolyse.

Die Art und Weise der Ausbildung dieser zusätzlichen Schutzschicht ist noch nicht bis ins letzte Detail erforscht und wird z. Zt. mit folgenden Arbeitshypothesen erklärt :

- Absorption der verzögernden Substanz an der reaktiven Oberfläche ;
- Niederschlag von Reaktionsprodukten des Verzögerers auf der reaktiven Oberfläche
- Komplexbildung der verzögernd wirkenden Substanz mit Ca-Ionen aus der Zementhydrolyse

Beim Einsatz von Verzögerern ist die „DAfStb-Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (Verzögerter Beton)“, Ausgabe November 2006, zu beachten. Diese Richtlinie ist für Beton anzuwenden, wenn er durch Zugabe von verzögernden Betonzusatzmitteln (Verzögerer und Betonzusatzmittel mit verzögernder Wirkung) gegenüber dem zugehörigen Beton ohne Zusatzmittel eine um mind. 3 Stunden verlängerte Verarbeitbarkeitszeit aufweist. Sie beinhaltet im Wesentlichen drei Aspekte:

1. Allgemeine Anforderungen
2. Erweiterte Eignungsprüfungen
3. Überprüfung unter Baustellenbedingungen

Neu in dieser Richtlinie ist die Möglichkeit der Zugabe von Verzögerern auf der Baustelle bei Verarbeitungszeiten von mehr als 12 Stunden.

■ **Anwendung:**

- Betonieren von massigen Bauteilen (Bspw. große Fundamente, Brückenbauwerke) zur Sicherstellung eines monolithischen, ungestörten Gefüges bzw. zur Erzielung einer langsameren Wärmeentwicklung
- Betonieren bei höheren Temperaturen
- Transportbeton bei längeren Fahrtzeiten bzw. Einbauzeiten.

■ Begriffe:

Verarbeitbarkeitszeit

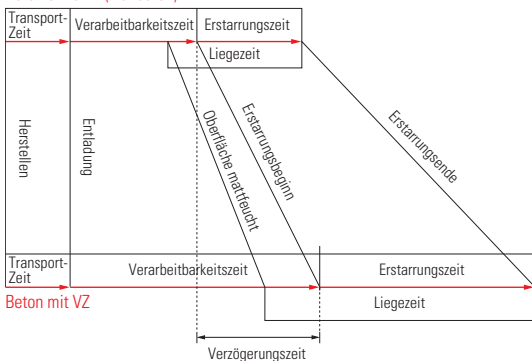
ist der Zeitraum, in dem der Beton mit den vorgesehenen Geräten verdichtbar ist, bei Baustellenbeton ab Herstellung, bei Transportbeton ab Übergabe auf der Baustelle.

Verzögerungszeit

ist der Zeitraum, um den die normale Verarbeitbarkeitszeit durch Zugabe von verzögernden Betonzusatzmitteln verlängert wird.

Schematische Darstellung der Begriffe bei verzögertem Beton

Beton ohne VZ (Nullbeton)



3.2.6 Beschleuniger (BE)/Spritzbetonbeschleuniger (SBE)

■ Definition:

Beschleuniger sind Betonzusatzmittel, die das Erstarren und/oder das Erhärten des Betons beschleunigen sollen.

■ Wirkungsweise der Beschleuniger:

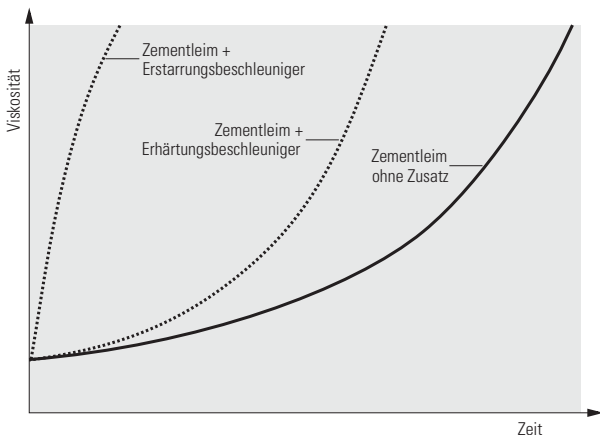
Erstarrungsbeschleuniger/Spritzbetonbeschleuniger

- Überbrückung der Ruhephase des C_3A
- Sehr schnelle Festigkeitsbildung durch das Eintreten der Aluminatreaktion
- In der Regel geringere Endfestigkeiten

Erhärtingsbeschleuniger

- Beschleunigen die Festigkeitsentwicklung der Silicatreaktion
- Merkliche Festigkeitssteigerung nach 8 – 10 Stunden

Schematische Darstellung der Wirkungsweise von Erstarrungsbeschleunigern/Spritzbetonbeschleunigern oder Erhärtingsbeschleunigern



■ **Anwendung:**

Erstarrungsbeschleuniger/Spritzbetonbeschleuniger

- Spritzbeton im Tunnelbau, Hangsicherungen, Baugrubensicherungen, Sanierungen
- Schnellmörtel z.B. Abdichtungen gegen Wassereinträge

Erhärtungsbeschleuniger:

- Betonieren bei niedrigen Temperaturen
- Steigerung der Frühfestigkeit (z.B. Betonwaren)

3.2.7 Einpresshilfen (EH)

■ **Definition:**

Einpresshilfen sind Betonzusatzmittel zur Herstellung von Einpressmörtel für Spannbeton mit nachträglichem Verbund.

■ **Wirkung:**

Einpresshilfen sollen das Absetzen des Zementmörtels im Spannkanaal vermindern bzw. mäßiges Quellen bewirken, außerdem das Fließen des Mörtels beim Einpressen verbessern und den Wasseranspruch des Mörtels vermindern.

■ **Anwendung:**

- Verfüllen von Spannbetonkanälen
- Hohlraumverfüllungen (Mörtel, Beton)
- Verfestigung von Fugen, Spalten, porösen Stellen
- Verpressen von Felsgestein, Böden etc.
- Hinterfüllungen

3.2.8 Stabilisierer (ST)/Sedimentationsreduzierer (SR)

■ Definition:

Stabilisierer/Sedimentationsreduzierer sind Betonzusatzmittel, die das Absondern von Anmachwasser des Frischbetons vermindern bzw. eine Sedimentation von Betonbestandteilen oder Entmischung des Betons verhindern sollen.

■ Wirkungsweise:

Stabilisierer/Sedimentationsreduzierer sind wasserbindende Zusätze, die in der Lage sind, im alkalischen Milieu des Betons Wasser zu binden und gegebenenfalls über Gleichgewichtsprozesse das Wasser für die zeitgleich stattfindende Zementhydratation wieder zur Verfügung zu stellen. Sedimentationsreduzierer verhindern das Sedimentieren von Betonbestandteilen im Frischbeton.

■ Anwendungsgebiete:

- Leichtbeton
- Spritzbeton
- Unterwasserbeton
- Gefällebetonagen
- Mörtel
- Selbstverdichtende Betone
- Leichtverdichtbare Betone
- Mehlkornarme Betone

3.2.9 Recyclinghilfen für Waschwasser (RH)

■ Definition:

Recyclinghilfen für Waschwasser sind Betonzusatzmittel, die die Wiederverwendung von Waschwasser ermöglichen, das beim Reinigen von Mischfahrzeugen anfällt.

■ **Wirksamkeit:**

Recycling der bei der Fahrmischerreinigung in der Fahrzeugtrommel anhaftenden Restbetonmengen und des anfallenden Waschwassers. Durch die Zugabe der Recyclinghilfe wird die Hydratation für bis zu drei Tage gestoppt. Das verzögerte Waschwasser kann bis zu 30 l/m³ Beton uneingeschränkt dem Frischbeton zugegeben werden.

■ **Anwendung:**

- Transportbeton

3.2.10 Chromatreduzierer (CR)

■ **Definition und Wirksamkeit:**

Chromatreduzierer sind Betonzusatzmittel, die dem Beton oder Mörtel beim Anmachen zugegeben werden und eine Reduktion des im Anmachwasser gelösten Chrom (VI) zu Chrom (III) bewirken.

■ **Anwendung:**

Frischbeton und Frischmörtel enthalten Spuren von wasserlöslichem Chromat. Dieses kann gerade bei händisch verarbeiteten Produkten, wie Putz- und Mauermörtel oder Estrichbeton, bei längerem Hautkontakt im Zusammenspiel mit der Alkalität des Zementes zu einer Sensibilisierung der Haut mit der Gefahr eines späteren Chromatekzems führen. Durch Zugabe von Chromatreduzierer wird der Gehalt an gelöstem Chromat verändert. Ergänzend zu dieser Maßnahme sollten immer auch Hautschutzsalben verwendet und Schutzhandschuhe getragen werden.

Da Zemente heute üblicherweise „chromatarm gemäß EU-Richtlinie 2003/53/EG“ ausgeliefert werden, ist eine Zugabe von Chromatreduzierer im Regelfall nicht mehr notwendig.

3.2.11 Schaumbildner (SB)

■ Definition:

Schaumbildner sind Betonzusatzmittel, die es ermöglichen, einen feinporigen Schaum zu erzeugen.

■ Wirkung:

Der Schaum wird mit einer Schaumdosieranlage erzeugt und in den Frischbeton eingemischt. Dadurch entsteht eine Betonmatrix mit vielen feinen, stabilen Luftporen in homogener Verteilung. Die Rohdichte wird erniedrigt und die Wärme- und Trittschalldämmung erhöht sowie die Verarbeitbarkeit verbessert.

■ Anwendung:

- Schaumbeton
- Porenleichtbeton
- Werkfrisch- und Leichtmauermörtel

3.2.12 Multifunktionelle Betonzusatzmittel

Nach DIN EN 934-2 gibt es folgende weitere kombinierte Betonzusatzmittelgruppen:

- Verzögerer/Betonverflüssiger
Zusatzmittel, das die kombinierten Wirkungen eines Betonverflüssigers (Hauptwirkung) und eines Verzögerers (Zusatzwirkung) aufweist.
- Verzögerer/Fließmittel
Zusatzmittel, das die kombinierten Wirkungen eines Fließmittels (Hauptwirkung) und eines Verzögerers (Zusatzwirkung) aufweist.
- Erstarrungsbeschleuniger/Betonverflüssiger
Zusatzmittel, das die kombinierten Wirkungen eines Betonverflüssigers (Hauptwirkung) und eines Erstarrungsbeschleunigers (Zusatzwirkung) aufweist.

3.3 Allgemeine Hinweise

Betonzusatzmittel sollen bei der Lagerung vor Frost, starker Sonneneinstrahlung und Verschmutzung geschützt werden. Die Lagertanks sind regelmäßig auf Ablagerungen bzw. Verunreinigungen zu überprüfen. Bestimmte Betonzusatzmittel können bei Vermischung in Lager- und Dosierbehältern auch schon in kleinsten Mengen zu Ausflockungen bzw. Gelbildung führen.

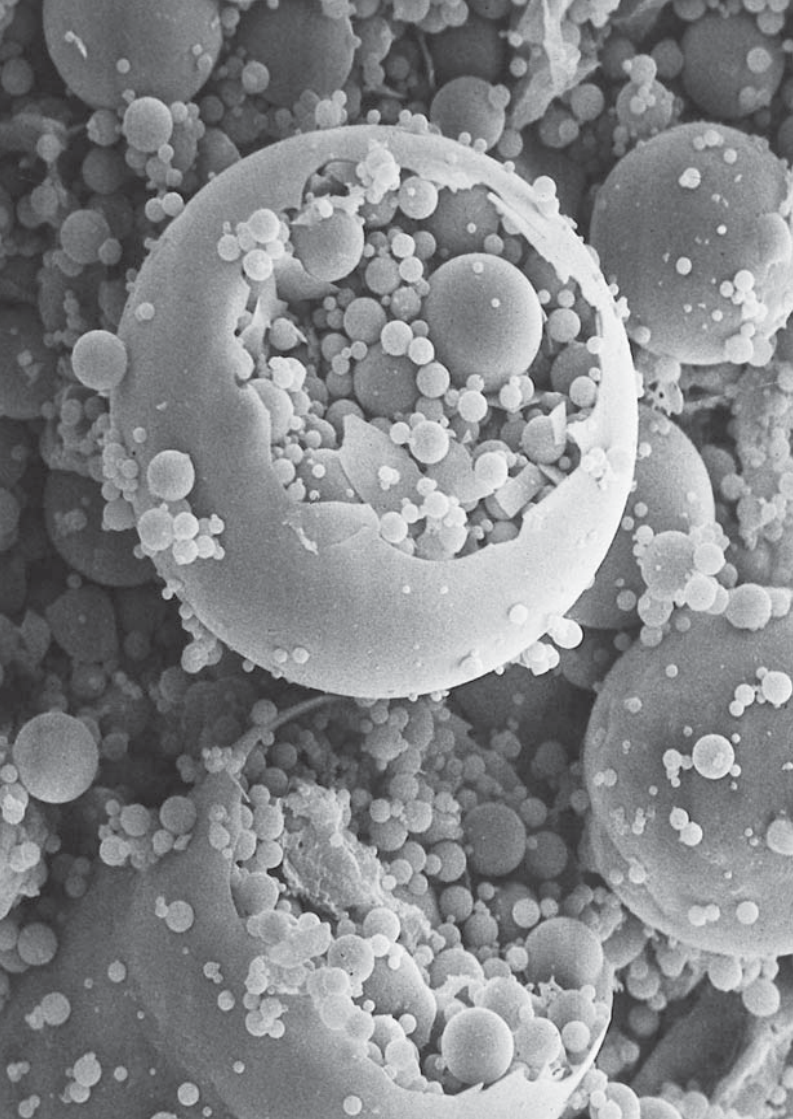
Die neuesten technischen Merkblätter bzw. Sicherheitsdatenblätter des Herstellers sind beim Umgang mit Betonzusatzmitteln vom Anwender zu beachten. Die Dosierung erfolgt in der Regel in Mehrkammerdosierwaagen, es muss für ausreichendes Spülen der Geräte mit Frischwasser gesorgt werden. Die Zugabe sollte möglichst am Ende der Wasserzugabe bzw. besser danach erfolgen. Die notwendige Mischzeit für eine homogene Verteilung bzw. Entfaltung der Wirksamkeit sollte anhand von Versuchen ermittelt werden.

Besondere Beachtung gilt hier den Luftporenbildnern und den Hochleistungsfleißmitteln auf Polycarboxylatbasis. Die notwendige Mischzeit dieser Produkte kann deutlich höher als die normgemäße Mindestmischzeit sein. Es sollte beachtet werden, dass die Wirksamkeit dieser Mittel von der Frischbetontemperatur abhängig sein kann.

Alle Zusatzmittel müssen an der Betonmischanlage dosiert werden (Ausnahme: Fließmittel und u. U. Verzögerer). Werden Fließmittel im Fahr-mischer zugegeben, muss mindestens 1 Minute/m³, aber nicht kürzer als 5 Minuten kräftig gemischt werden.

Die Haltbarkeit von Betonzusatzmitteln ist begrenzt und ist in den technischen Merkblättern angegeben. Bei längerer Lagerung sollten die Betonzusatzmittel vor Gebrauch durch Aufrühren oder kräftiges Schütteln homogenisiert werden. Sind die Produkte überlagert, sollten sie nicht mehr eingesetzt werden. Bei der Lieferung von Betonzusatzmitteln werden die Begleitzettel bzw. die Gebinde mit den in der bauaufsichtlichen Zulassung oder in der Zusatzmittelnorm genannten Angaben gekennzeichnet. Sie

enthalten u. a. Kennzeichnung und Namen der Wirkungsgruppe bzw. des Zusatzmitteltyps, Chargennummer, Herstellwerk sowie das CE-Zeichen als Nachweis der Übereinstimmung mit der europäischen Norm bzw. mit der bauaufsichtlichen Zulassung.



Betonzusatzstoffe

4. Betonzusatzstoffe

Betonzusatzstoffe sind feinverteilte anorganische, puzzolanische oder latent hydraulische Stoffe, die dem Beton zugegeben werden können, um bestimmte Eigenschaften zu verbessern oder um besondere Eigenschaften zu erzielen.

Die Zusatzstoffe werden in zwei Arten eingeteilt:

- Typ I = nahezu inerte Zusatzstoffe, z.B. Gesteinsmehle
- Typ II = puzzolanische oder latent hydraulische Zusatzstoffe, z.B. Flugasche, Silicastaub, Hüttensand.

Schädliche Bestandteile, die die Dauerhaftigkeit des Betons beeinträchtigen oder die Korrosion der Bewehrung herbeiführen, dürfen nicht vorhanden sein.

Werden Zusatzstoffe bei der Herstellung von Beton verwendet, ist **immer** eine **Erstprüfung** erforderlich. Ihr Volumenanteil ist bei der Stoffraumberechnung zu berücksichtigen.

4.1 Flugasche (f)

Flugasche ist ein feinkörniger Staub, der hauptsächlich aus kugelförmigen, glasigen Partikeln besteht, die bei der Verbrennung feingemahlener Kohle anfällt, puzzolanische Eigenschaften hat und im Wesentlichen aus SiO_2 und Al_2O_3 besteht. Der Gehalt an wirksamen SiO_2 , wie er nach DIN EN 197-1 bestimmt wird, beträgt mindestens 25 % Massenanteil. Flugasche wird durch elektrostatische oder mechanische Abscheidung staubförmiger Partikel aus Abgasen von Feuerungsanlagen gewonnen, die mit gemahlenem Anthrazit oder gemahlener Steinkohle befeuert werden.

Flugasche ist nach DIN EN 450 „Flugasche für Beton“ genormt. Die Anwendungskriterien sind in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 geregelt.

4.2 Silicastaub (s)

Silicastaub (Silica fume) fällt bei der Ferro-Silicium-Herstellung an. Er besteht aus hochreinem, amorphem Siliciumoxid (SiO_2) mit einer Teilchengröße von ca. $0,1 \mu\text{m}$. Aufgrund seiner puzzolanischen Eigenschaften findet er als Betonzusatzstoff Verwendung. Zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 muss Silicastaub der DIN EN 13263-1 entsprechen oder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik besitzen.

Silicastaub kommt in flüssiger Form als Suspension (mit bestimmtem Feststoffgehalt) oder pulverförmig zum Einsatz. Er findet Anwendung bei der Herstellung von:

- hochfestem Beton
- hochdichtem Beton
- Beton mit erhöhtem chem. Widerstand
- Spritzbeton
- ultrahochfestem Beton

4.3 Füller (Gesteinsmehl)

Gesteinsmehle sind inerte Zusatzstoffe, die hauptsächlich der Verbesserung der Sieblinie und somit der Verarbeitbarkeit des Betons dienen. Sie werden nach DIN EN 12620 hergestellt und überwacht.

4.4 Farbpigmente

Farbpigmente nach DIN EN 12878 dürfen als Zusatzstoffe verwendet werden, wenn eine ordnungsgemäße Herstellung und Verarbeitung des Betons gesichert ist.

Eine Dosierung von 3 % bis 8 % des Zementgewichts ist üblich. In dieser Menge dosiert, beeinflussen sie die Betoneigenschaften nicht negativ. Ein eventuell höherer Wasseranspruch wird sinnvoller Weise durch Betonverflüssiger oder Fließmittel kompensiert.

4.5 Anrechenbarkeit von Zusatzstoffen Typ II (k-Wert-Ansatz)

Die Eignung des k-Wert-Ansatzes gilt für Flugasche (f) und Silicastaub (s) als nachgewiesen.

Bei Verwendung von Zementen, die Silicastaub als Hauptbestandteil enthalten, darf Silicastaub nicht als Zusatzstoff verwendet werden.

4.5.1 k-Werte

k-Wert für Flugasche $k_f = 0,40$

k-Wert für Silicastaub $k_s = 1,0$

4.5.2 Äquivalenter Wasserzementwert

Der k-Wert-Ansatz erlaubt es, Zusatzstoffe des Typs II bei der Berechnung des Wasserzementwertes zu berücksichtigen. Dieser Wasserzementwert wird als „äquivalenter Wasserzementwert“ bezeichnet.

$$(w/z)_{eq} = w/(z + k_f \cdot f)$$

$$(w/z)_{eq} = w/(z + k_s \cdot s)$$

$$(w/z)_{eq} = w/(z + k_f \cdot f + k_s \cdot s)$$

4.5.3 Einsatz von Flugasche nach DIN EN 450

Der Mindestzementgehalt darf bei Anrechnung von Flugasche für alle Expositionsklassen auf die in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 Tabelle F2.1 und F2.2, Zeile 4, angegebenen Mindestzementgehalte bei Anrechnung von Zusatzstoffen reduziert werden, wenn eine der folgenden Zementarten verwendet wird:

- Portlandzement (CEM I)
- Portlandsilicastaubzement (CEM II/A-D)
- Portlandhüttenzement (CEM II/A-S oder CEM II/B-S)
- Portlandschieferzement (CEM II/A-T oder CEM II/B-T)
- Portlandkalksteinzement (CEM II/A-LL)
- Portlandpuzzolanzement (CEM II/A-P)

- Portlandflugaschezement (CEM II/A-V)
- Portlandkompositzemente (CEM II/A-M mit den Hauptbestandteilen S, D, P, V, T, LL)
- Portlandkompositzemente (CEM II/B-M (S-D, S-T, D-T, S-LL, V-LL)
- Hochofenzement (CEM III/A)
- Hochofenzement (CEM III/B) mit bis zu 70 M.-% Hüttensand, wenn die Zusammensetzung entsprechend DIN EN 197-1 nachgewiesen ist.

Dabei darf der Gehalt an Zement und Flugasche (z+f) die in DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 Tabelle F2.1 und F2. nach Zeile 3 angegebenen Mindestzementgehalte nicht unterschreiten.

Die Höchstmenge Flugasche, die bei Zementen ohne die Hauptbestandteile P, V, D auf den Wasserzementwert angerechnet werden darf ist:

$$\max f \leq 0,33 \cdot z$$

Bei Zementen mit den Hauptbestandteilen P oder V ohne den Hauptbestandteil D:

$$\max f \leq 0,25 \cdot z$$

Bei Zement mit dem Hauptbestandteil D:

$$\max f \leq 0,15 \cdot z$$

Falls mehr Flugasche zugegeben wird, darf diese Mehrmenge nicht bei der Berechnung des äquivalenten Wasserzementwertes berücksichtigt werden.

Bei Zementen mit dem Hauptbestandteil D darf keine Mehrmenge Flugasche ($\max f = 0,15 \cdot z$) verwendet werden.

Zur Herstellung von Beton mit hohem Sulfatwiderstand darf anstelle von HS-Zement eine Mischung aus Zement und Flugasche verwendet werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Sulfatgehalt des angreifenden Wassers:

$$\text{SO}_4^{2-} \leq 1.500 \text{ mg/l}$$

- Zementart CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-V, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL oder CEM III/A sowie Portlandkompositzemente CEM II/A-M mit den Hauptbestandteilen S, V, T, LL und Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-T)
- Der Flugascheanteil, bezogen auf den Gehalt an Zement und Flugasche (z+f), muss bei den Zementarten CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-V und CEM II/A-LL sowie Portlandkompositzemente CEM II/A-M mit den Hauptbestandteilen S, V, T, LL und Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-T) mindestens 20 % (Massenanteil), bei den Zementarten CEM II/A-T, CEM II/B-T und CEM III/A mindestens 10 % (Massenanteil) sein.

Flugasche, deren Gesamtalkaligehalt, bestimmt nach DIN EN 196-21 und ausgedrückt als Na_2O -Äquivalent, 4 % (Massenanteil) nicht überschreitet, darf auch mit Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E II und E III und für die Feuchtigkeitsklassen WF und WA nach DAfStb-Richtlinie „Alkalireaktion im Beton“ verwendet werden.

ANMERKUNG: Mit der Einführung der neuen DIN 1164-10, die voraussichtlich Mitte 2013 erscheinen wird, sind die Zemente mit hohem Sulfatwiderstand zukünftig durch die DIN EN 197-1 (Ausgabe 2011) geregelt.

4.5.4 Einsatz von Silicastaub

Maximal zulässiger Silicastaubgehalt:

$$\max s = 0,11 \cdot z$$

Verwendung in Verbindung mit folgenden Zementen zulässig:

- Portlandzement (CEM I)
- Portlandhüttenzement (CEM II/A-S oder CEM II/B-S)
- Portlandpuzzolanzement (CEM II/A-P, CEM II/B-P)
- Portlandflugaschezement (CEM II/A-V)
- Portlandschieferzement (CEM II/A-T oder CEM II/B-T)
- Portlandkalksteinzement (CEM II/A-LL)
- Portlandkompositzemente (CEM II/A-M mit den Hauptbestandteilen S, P, V, T, LL)
- Portlandkompositzemente (CEM II/B-M (S-T, S-V)
- Hochofenzement (CEM III/A, CEM III/B)

Weitere Anwendungen siehe Kapitel 6 Beton.

4.5.5 Gleichzeitiger Einsatz von Flugasche und Silicastaub

Bei gleichzeitiger Verwendung von Flugasche und Silicastaub darf der Gehalt an Silicastaub 11 M.-% bezogen auf den Zementgehalt nicht überschreiten.

Der Mindestzementgehalt darf bei gleichzeitiger Anrechnung von Silicastaub und Flugasche für alle Expositionsklassen auf die in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 Tabelle F2.1 und F2.2, Zeile 4, angegebenen Mindestzementgehalte bei Anrechnung von Zusatzstoffen reduziert werden. Dabei darf der Gehalt an Zement, Flugasche und Silicastaub ($z + f + s$) die in den Tabellen F2.1 und F2.2, Zeile 3, angegebenen Mindestzementgehalte nicht unterschreiten.

Die Höchstmengen Flugasche und Silicastaub, die auf den Wasserzementwert angerechnet werden dürfen, sind:

$$\max f = 0,33 \cdot z$$

$$\max s = 0,11 \cdot z$$

Falls mehr Flugasche zugegeben wird, darf diese Mehrmenge nicht bei der Berechnung des äquivalenten Wasserzementwertes berücksichtigt werden.

$$(w/z)_{eq} = w/(z + 0,4 \cdot f + 1,0 \cdot s)$$

Um eine ausreichende Alkalität der Porenlösung sicherzustellen, muss bei gleichzeitiger Verwendung von CEM I, Flugasche und Silicastaub die Höchstmenge Flugasche der Bedingung

$$f/z \leq 3 \cdot (0,22 - s/z)$$

in Massenanteilen genügen, für die Zemente CEM II-S, CEM II-T, CEM II/A-LL, CEM II/A-M (S-T, S-LL, T-LL), CEM II/B-M (S-T) und für CEM III/A gilt:

$$f/z \leq 3 \cdot (0,15 - s/z)$$

in Masseanteilen.

Mit allen anderen Zementen ist eine gemeinsame Verwendung von Flugasche und Silicastaub als Betonzusatzstoffe nicht zulässig.

Die SCHWENK Portlandkompositzemente CEM II/B-M (S-LL, V-LL) besitzen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) für die abweichenden Anforderungen an die Anwendung in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

4.6 Hüttensand

Anwendung von Hüttensand ist zur Zeit noch nicht festgelegt.



Zugabewasser

5. Zugabewasser

Das Zugabewasser ist der Anteil des Gesamtwassers einer Frischbetonmischung, welches, nach Abzug der Eigenfeuchte der Gesteinskörnung und unter Umständen nach Abzug des Wassers aus Betonzusätzen, der Mischung zugeführt werden muss, um die gewünschte Konsistenz zu erzielen.

Grundlage bildet die DIN EN 1008 sowie die DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

5

5.1 Klassifikation der Arten von Wasser

Die Eignung eines Wassers für die Betonherstellung hängt von dessen Herkunft ab. Dabei ist zu unterscheiden in:

■ **Trinkwasser**

Dieses Wasser ist üblicherweise für die Betonherstellung geeignet und muss nicht untersucht werden.

- **Restwasser** aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung
Dieses Wasser ist für Beton geeignet, wenn gezielte Anforderungen (siehe Anhang A5, DIN EN 1008) erfüllt werden.

■ **Grundwasser**

Dieses Wasser kann für Beton geeignet sein, muss aber geprüft werden.

- Natürliches **Oberflächenwasser** und industrielle **Brauchwasser**

Dieses Wasser kann für die Betonherstellung verwendet werden, wenn es geprüft wurde und geeignet ist.

- **Meerwasser** oder **Brackwasser**

Dieses Wasser darf für unbewehrten Beton oder Beton mit eingebetteten Metallteilen verwendet werden. Jedoch ist es im Allgemeinen nicht für die Herstellung von bewehrtem oder vorgespanntem Beton geeignet.

Bei Beton mit Stahlbewehrung oder eingebetteten Metallteilen ist der zulässige Gesamtchloridgehalt im Beton einzuhalten.

- **Abwasser**

Dieses Wasser ist für Beton nicht geeignet.

5.2 Restwasser

Restwasser darf für Betone bis einschließlich der Festigkeitsklasse C50/60 oder LC50/55 verwendet werden. Für die Herstellung von hochfestem Beton und Beton mit Luftporenbildnern darf Restwasser nicht eingesetzt werden. Für die Herstellung von Sichtbeton sollte auf Restwasser verzichtet werden.

Durch betriebliche Maßnahmen ist eine homogene Verteilung der Feststoffe im Restwasser zu garantieren oder diese Feststoffe müssen in einem Absetzbecken abgeschieden werden.

5.2.1 Zusammensetzung des Restwassers

Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen kann betriebsbedingt enthalten:

- Wasser aus dem Restbeton
- Wasser, das zum Auswaschen der Gesteinskörnung benutzt wird
- Spülwasser, das zum Reinigen des Innenraums der Mischertrommel von stationären Mischern, Fahrmischern und der Betonpumpe verwendet wurde
- Wasser, das beim Sägen, Schleifen und Wasserstrahlen von erhärtetem Beton anfällt
- Wasser, das während der Herstellung von Frischbeton entsteht

Der Feststoffgehalt wird aus der Dichtebestimmung und der zugegebenen Restwassermenge ermittelt und ist bei der Betonzusammensetzung zu berücksichtigen.

5.2.2 Anforderungen

Wasser für Beton muss den Anforderungen für die Vorprüfung von Zugabewasser erfüllen. Geprüft werden Spuren von Öl, Fett, Reinigungsmittel, Chlorid, Säuren, Huminstoffe sowie Schwebstoffe, Farbe und der Geruch gemäß folgender Tabelle.

Anforderungen an das Restwasser und dessen Beurteilung

	Anforderungen	Prüfverfahren
Farbe	farblos bis schwach gelblich	Visuelle Prüfung im Messzylinder ¹⁾ vor weißem Hintergrund. 80 ml Wasser werden in einen Messzylinder gegeben und 30 sek. kräftig geschüttelt. Die Feinteile setzen sich in 30 Minuten ab.
Geruch – Restwasser	leichter Geruch von Flugasche, Zement u. Schwefelwasserstoff	80 ml werden in einem Meßzylinder ¹⁾ 30 sek. kräftig geschüttelt; anschließend Geruchsvergleich, Wasserprobe und sauberes Wasser
Wasser aus anderen Quellen	kein Geruch von Schwefelwasserstoff	
Öl und Fett	höchstens Spuren	Prüfung nach Augenschein
Reinigungsmittel	allenfalls geringe, instabile Schaumbildung < 2 min.	80 ml Wasser werden in einem Messzylinder ¹⁾ 30 Sekunden kräftig geschüttelt und anschließend 2 Minuten beobachtet.
Chlorid (Cl) Spannbeton ²⁾ Stahlbeton ²⁾ unbew. Beton	≤ 500 mg/l ≤ 1.000 mg/l ≤ 4.500 mg/l	DIN EN 196-21
Huminstoffe	heller als gelbbraun; kein Ammoniakgeruch	5 cm ³ Wasserprobe in Reagenzglas füllen. 5 cm ³ 3%ige Natriumhydroxidlösung zusetzen, schütteln; nach 1 Stunde Prüfung nach Augenschein.
Säuren	pH ≥ 4	z.B. Reagenzpapier, ph-Meter
Schwebstoffe		gemäß Anhang A.4, DIN EN 1008
Restwasser	–	Anforderungen an Restwasser
Wasser aus anderen Quellen	absolutes Volumen ≤ 4 ml	Verfahren wie bei der Prüfung der Farbe

Fußnoten siehe S. 196

¹⁾ 100-ml-Messzylinder.

²⁾ Gegebenenfalls ist eine günstigere Beurteilung möglich, wenn der Chloridgehalt aller Betonausgangsstoffe berücksichtigt wird. Es ist dann nachzuweisen, dass der Chloridgehalt bei Spannbeton 0,20 % und bei Stahlbeton 0,40 % des Zementgewichts nicht überschreitet.

Zusätzlich sind chemische Eigenschaften, wie Schwefel, Alkalien sowie schädliche Verunreinigungen gemäß DIN EN 1008:2002 zu prüfen.

Die Dichte des Restwassers ist mindestens einmal pro Tag zum Zeitpunkt der zu erwartenden höchsten Dichte zu ermitteln, wobei folgende Tabelle heranzuziehen ist. Eine kontinuierliche Dichtebestimmung über den Tag ist als günstig anzusehen.

Feststoffe im Restwasser

Dichte des Restwassers in 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

Bei der Berechnung wurde eine Korndichte von 2,1 kg/l für die Schätzung der Feststoffe im Restwasser zugrunde gelegt. Falls andere Dichten gemessen werden, erfolgt die Umrechnung gemäß DIN EN 1008.

Bei Restwasser mit einer Dichte $\leq 1,01$ kg/l dürfen die Mengen an Feststoff als vernachlässigbar angesehen werden.

Bei Prüfung der **Erstarrungszeit** von Probekörpern mit Restwasser darf der Erstarrungsbeginn nicht weniger als 1 Stunde und das Erstarrungsende nicht mehr als 12 Stunden sowie die max. Abweichung nicht mehr als 25 % gegenüber Probekörpern mit destilliertem und entionisiertem Wasser betragen. Die mittlere 7-Tages-**Druckfestigkeit** von Probekörpern mit Restwasser muss mindestens 90 % der mittleren Druckfestigkeit von Probekörpern mit destilliertem oder entionisiertem Wasser sein.

Erfüllt das Restwasser die Anforderungen der o.g. Tabellen nicht, so darf es nur dann als Teil des gesamten Zugabewassers für Beton verwendet werden, wenn sichergestellt ist, dass die Grenzwerte, bezogen auf das gesamte Zugabewasser, eingehalten werden.

5.2.3 Probenahme

Als Probe dient eine Wassermenge von mindestens 5 l, wobei diese Probe genau identifiziert werden sollte und sich für das jeweilige Restwasser als repräsentativ erweisen sollte.

Die Probe ist in einem sauberen und dicht verschlossenen Behälter aufzubewahren, der vorher mit Wasser gleichen Ursprungs ausgespült wurde. Der Behälter ist bis zum Rand zu füllen. Die Prüfung sollte innerhalb von 2 Wochen nach Probenahme erfolgen.

Folgende Prüfhäufigkeit ist einzuhalten:

■ **Trinkwasser**

keine Prüfung

■ **Restwasser** aus Wiederaufbereitungsanlagen der

Betonherstellung nach DIN 1045-2/A1:2005-01

Im ersten Monat nach Betriebsbeginn der Überwachung mindestens wöchentlich, vom 2. bis zum 6. Monat monatlich; danach ist mindestens halbjährlich zu prüfen. Im Verdachtsfall Chloridgehalt und Sulfatgehalt mindestens produktionstäglich prüfen.

■ **Grundwasser**, natürliches **Oberflächenwasser** und industrielle **Brauchwasser**

Prüfung vor der ersten Anwendung, dann monatlich bis eindeutige Kenntnis über die Schwankungen der Wasserzusammensetzung vorliegt. Danach darf eine geringere Häufigkeit übernommen werden.

■ **Meerwasser** und **Brackwasser**

Vor der ersten Anwendung, danach jährlich und immer wenn erforderlich.

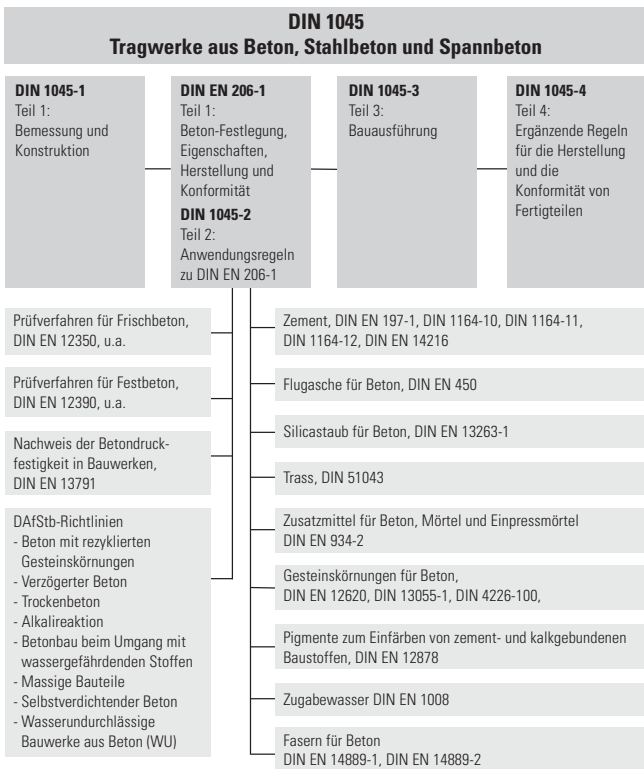


Beton

6. Beton

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

6.1.1 Zusammenhang der Normen im Betonbau



6.1.2 Begriffe

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

Leichtbeton – Beton mit einer Rohdichte (ofentrocken) von nicht weniger als 800 kg/m^3 und nicht mehr als 2.000 kg/m^3 . Er wird ganz oder teilweise unter Verwendung von leichter Gesteinskörnung hergestellt.

Normalbeton – Beton mit einer Rohdichte (ofentrocken) über 2.000 kg/m^3 , höchstens aber 2.600 kg/m^3 .

Schwerbeton – Beton mit einer Rohdichte (ofentrocken) über 2.600 kg/m^3 .

Hochfester Beton – Beton mit einer Festigkeitsklasse über C50/60 im Falle von Normalbeton oder Schwerbeton und einer Festigkeitsklasse über LC50/55 im Falle von Leichtbeton.

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

Standardbeton – Beton nach Zusammensetzung, dessen Zusammensetzung in einer am Ort der Verwendung des Betons gültigen Norm vorgegeben ist.

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

Frischbeton – Beton, der fertig gemischt ist, sich noch in einem verarbeitbaren Zustand befindet und durch das gewählte Verfahren verdichtet werden kann.

Fließbeton – Beton mit der Konsistenzbeschreibung sehr weich, fließfähig oder sehr fließfähig.

Selbstverdichtender Beton (SVB) – Beton der aufgrund seiner Zusammensetzung, praktisch ohne Verdichtung, alleine unter dem Einfluss der Schwerkraft fließt, entlüftet sowie die Bewehrungszwischenräume und Schalung vollständig ausfüllt.

Festbeton – Beton, der sich in einem festen Zustand befindet und eine gewisse Festigkeit entwickelt hat.

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

Transportbeton – Beton, der in frischem Zustand durch eine Person oder Stelle geliefert wird, die nicht der Verwender ist. Transportbeton im Sinne der Norm ist auch

- vom Verwender außerhalb der Baustelle hergestellter Beton
- auf der Baustelle nicht vom Verwender hergestellter Beton.

Lieferung – Der Vorgang der Übergabe des Frischbetons durch den Hersteller.

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

Betonfertigteil – Betonprodukt, das an einem anderen Ort als dem endgültigen Ort der Verwendung hergestellt und nachbehandelt wird.

Zement (hydraulisches Bindemittel) – fein gemahlener, anorganischer Stoff, der, mit Wasser gemischt, Zementleim ergibt, welcher durch Hydratation erstarrt und erhärtet und nach dem Erhärten auch unter Wasser raumbeständig und fest bleibt.

Gesteinskörnungen – Für die Verwendung in Beton geeigneter, gekörnter, mineralischer Stoff. Gesteinskörnungen können natürlich oder künstlich sein oder aus vorher beim Bauen verwendeten, rezyklierten Stoffen bestehen.

Leichte Gesteinskörnung – Gesteinskörnung mineralischer Herkunft mit einer Kornrohichte (ofentrocken) $\leq 2.000 \text{ kg/m}^3$, bestimmt nach DIN EN 1097-6, oder einer Schüttdichte (ofentrocken) $\leq 1.200 \text{ kg/m}^3$, bestimmt nach DIN EN 1097-3.

Normale Gesteinskörnung – Gesteinskörnung mit einer Kornrohichte (ofentrocken) $> 2.000 \text{ kg/m}^3$ und $< 3.000 \text{ kg/m}^3$ bestimmt nach DIN EN 1097-6.

Schwere Gesteinskörnung – Gesteinskörnung mit einer Kornrohichte (ofentrocken) $\geq 3.000 \text{ kg/m}^3$, bestimmt nach DIN EN 1097-6.

Zusatzstoff – Fein verteilter Stoff, der im Beton verwendet wird, um bestimmte Eigenschaften zu verbessern oder um bestimmte Eigenschaften zu erreichen. Die Norm beinhaltet zwei Arten von anorganischen Zusatzstoffen:

- nahezu inaktive Zusatzstoffe (Typ I) und
- puzzolanische oder latentlydraulische Zusatzstoffe (Typ II).

Zusatzmittel – Stoff, der während des Mischvorgangs des Betons in kleinen Mengen, bezogen auf den Zementgehalt, zugegeben wird, um die Eigenschaften des Frischbetons oder Festbetons zu verändern.

Gesamtwassergehalt – Summe aus dem Zugabewasser, dem bereits in der Gesteinskörnung und auf dessen Oberfläche enthaltenen Wasser, dem Wasser in Zusatzmitteln und Zusatzstoffen, wenn diese in wässriger Form verwendet werden, und gegebenenfalls dem Wasser von zugefügtem Eis oder einer Dampfbeheizung.

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

Restwasser – Wasser, das auf dem Gelände der Betonproduktion anfällt und nach Aufbereitung zur Betonproduktion wiederverwendet wird.

Wasserzementwert w/z – Masseverhältnis des wirksamen Wassergehaltes zum Zementgehalt im Frischbeton.

Äquivalenter Wasserzementwert $(w/z)_{eq}$ – Masseverhältnis des wirksamen Wassergehaltes zur Summe aus Zementgehalt und k -fach anrechenbaren Anteilen von Zusatzstoffen.

Künstliche Luftporen – Mikroskopisch kleine Luftporen, die während des Mischens – im Allgemeinen unter Verwendung eines oberflächenaktiven Stoffes – absichtlich im Beton erzeugt werden; typischerweise mit 10 μm bis 300 μm Durchmesser und kugelförmiger oder nahezu kugelförmiger Gestalt.

Lufteinschlüsse – Luftporen, die unbeabsichtigt in den Beton gelangen.

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 die nicht als Lastannahmen in die Tragwerksplanung eingehen.

Feuchteklassen – Künftig ist es notwendig, dass der Planer zusätzlich zu den Expositionsklassen die Feuchtekategorie für jedes Bauteil mit angibt. Dies resultiert aus der Übernahme der Regelungen der Alkali-Richtlinie. Dabei müssen alle Gesteinskörnungen den entsprechenden Alkaliempfindlichkeitsklassen der DAfStb-Richtlinie zugeordnet werden. Diese Regelung dient dazu schädigende Alkalikieselsäurereaktionen zu vermeiden.

Umwelteinflüsse – Diejenigen chemischen und physikalischen Einflüsse, denen der Beton ausgesetzt ist und die zu Einwirkungen auf den Beton oder die Bewehrung oder das eingebettete Metall führen, die nicht als Lasten bei der konstruktiven Bemessung berücksichtigt werden.

Betonfamilie – Eine Gruppe von Betonzusammensetzungen, für die ein verlässlicher Zusammenhang zwischen maßgebenden Eigenschaften festgelegt und dokumentiert ist.

Erstprüfung – Prüfung oder Prüfungen vor Herstellungsbeginn des Betons, um zu ermitteln, wie ein neuer Beton oder eine neue Betonfamilie zusammengesetzt sein muss, um alle festgelegten Anforderungen im frischen und erhärteten Zustand zu erfüllen.

Charakteristische Festigkeit – Erwarteter Festigkeitswert, unter den 5 % der Grundgesamtheit aller möglichen Festigkeitsmesswerte der Menge des betrachteten Betons fallen.

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

Prüfung der Konformität – Prüfung, die vom Hersteller durchgeführt wird, um die Konformität des Produkts nachzuweisen.

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

Konformitätsnachweis – Bestätigung durch Überprüfung und Vorlegen gesicherter Erkenntnisse, dass die festgelegten Anforderungen erfüllt worden sind.

ANMERKUNG: Die in der Norm enthaltenen Bestimmungen für den Konformitätsnachweis gelten als Bestimmungen für den Übereinstimmungsnachweis nach den Landesbauordnungen.

6.2 Klasseneinteilung

6.2.1 Expositionsklassen

bezogen auf die Umgebungsbedingungen

- X0 kein Korrosions- oder Angriffsrisiko
- XC1-4 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung
- XD1-3 Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride, ausgenommen Meerwasser
- XS1-3 Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride aus Meerwasser
- XF1-4 Frostangriff mit und ohne Taumittel
- XA1-3 Betonkorrosion durch chemischen Angriff
- XM1-3 Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung

Der Beton kann mehr als einer der aufgeführten Einwirkungen ausgesetzt sein. Die Einwirkungsbedingungen, denen er ausgesetzt ist, müssen dann als Kombination von Expositionsklassen ausgedrückt werden.

6.2.1.1 Expositionsklassen bezogen auf die Umgebungsbedingungen

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung
1. Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko	
Für Bauteile ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall in nicht betonangreifender Umgebung kann die Expositionsklasse X0 zugeordnet werden:	
X0	Für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall; alle Umgebungsbedingungen, ausgenommen Frostangriff, Verschleiß oder chemischer Angriff
2. Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung¹⁾	
Wenn Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält, Luft und Feuchtigkeit ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden:	
XC1	trocken oder ständig nass
XC2	nass, selten trocken
XC3	mäßige Feuchte
XC4	wechselnd nass und trocken

Fortsetzung S. 210/211

¹⁾ **ANMERKUNG:** Die Feuchtigkeitsbedingung bezieht sich auf den Zustand innerhalb der Betondeckung der Bewehrung oder anderen eingebetteten Metalls; in vielen Fällen kann jedoch angenommen werden, dass die Bedingungen in der Betondeckung den Umgebungsbedingungen entsprechen. In diesen Fällen darf die Klasseneinteilung nach der Umgebungsbedingung als gleichwertig angenommen werden. Dies braucht nicht der Fall zu sein, wenn sich zwischen dem Beton und seiner Umgebung eine Sperrschicht befindet.

Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)

Fundamente ohne Bewehrung, ohne Frost;
Innenbauteile ohne Bewehrung

Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden); Beton, der ständig in Wasser getaucht ist

Teile von Wasserbehältern; Gründungsbauteile

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

Außenbauteile mit direkter Beregnung

6.2.1.1 Expositionsklassen bezogen auf die Umgebungsbedingungen

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung
3. Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride, ausgenommen Meerwasser	
Wenn Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält, chloridhaltigem Wasser, einschließlich Taumittel, ausgenommen Meerwasser, ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden:	
XD1	mäßige Feuchte
XD2	nass, selten trocken
XD3	wechselnd nass und trocken
4. Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride aus Meerwasser	
Wenn Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält, Chloriden aus Meerwasser oder salzhaltiger Seeluft ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden:	
XS1	salzhaltige Luft, aber kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser
XS2	unter Wasser
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche

Fortsetzung S. 212/213

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

Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)

Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen;
Einzelgaragen

Solebäder;
Bauteile, die chloridhaltigen Industrieabwässern ausgesetzt sind

Teile von Brücken mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung;
Fahrbahndecken; direkt befahrene Parkdecks¹⁾

Außenbauteile in Küstennähe

Bauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen

Kaimauern in Hafenanlagen

6.2.1.1 Expositionsklassen bezogen auf die Umgebungsbedingungen

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung
5. Frostangriff mit und ohne Taumittel	
Wenn durchfeuchteter Beton erheblichem Angriff durch Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden:	
XF1	mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel
XF2	mäßige Wassersättigung, mit Taumittel
XF3	hohe Wassersättigung, ohne Taumittel
XF4	hohe Wassersättigung, mit Taumittel
6. Betonkorrosion durch chemischen Angriff¹⁾	
Wenn Beton chemischem Angriff durch natürliche Böden, Grundwasser, Meerwasser nach Tabelle 6.2.1.2 (S. 218/219) und Abwasser ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden:	
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung nach der Tabelle 6.2.1.2 (S. 218/219)
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung nach der Tabelle 6.2.1.2 (S. 218/219) und Meeresbauwerke
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung nach Tabelle 6.2.1.2 (S. 218/219)

Fortsetzung S. 214/215

¹⁾ **ANMERKUNG:** Bei XA3 und unter Umgebungsbedingungen außerhalb der Grenzen der Tabelle 6.2.1.2 (S. 218/219), bei Anwesenheit anderer angreifender Chemikalien, chemisch

Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)

Außenbauteile

Bauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, soweit nicht XF4;
Betonbauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser

offene Wasserbehälter;
Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser

Verkehrsflächen, die mit Taumitteln behandelt werden;
überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen; Räumlerlaufbahnen von Kläranlagen;
Meerwasserbauteile in der Wasserwechselzone

Behälter von Kläranlagen;
Güllebehälter

Betonbauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen;
Bauteile mit betonangreifenden Böden

Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern;
Futtermische der Landwirtschaft; Kühltürme mit Rauchgasableitung

verunreinigtem Boden oder Wasser, bei hoher Fließgeschwindigkeit von Wasser und Einwirkung von Chemikalien der Tabelle 6.2.1.2 (S. 218/219) sind Anforderungen an Beton oder Schutzmaßnahmen in DIN 1045-2, 5.3.2 dieser Norm vorgegeben.

6.2.1.1 Expositionsklassen bezogen auf die Umgebungsbedingungen

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung
7. Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung	
Wenn Beton einer erheblichen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden:	
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung
XM2	starke Verschleißbeanspruchung
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung

Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)

Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge

Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler

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

Feuchteklassen nach Alkali-Richtlinie

Künftig ist es notwendig, dass der Planer zusätzlich zu den Expositionsklassen die Feuchtekategorie für jedes Bauteil mit angibt. Dies resultiert aus der Übernahme der Regelungen der Alkali-Richtlinie. Dabei müssen alle Gesteinskörnungen den entsprechenden Alkaliempfindlichkeitsklassen der DAfStb-Richtlinie zugeordnet werden. Diese Regelung dient dazu schädigende Alkalikieselsäurereaktionen zu vermeiden.

Die Einteilung in die Feuchtekategorien lautet wie folgt:

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
Betonkorrosion infolge Alkalikieselsäurereaktion Anhand der zu erwartenden Umgebungsbedingungen ist der Beton einer der vier nachfolgenden Feuchtekategorien zuzuordnen.		
WO	Beton, der nach normaler Nachbehandlung nicht längere Zeit feucht und nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt.	<ul style="list-style-type: none"> - Innenbauteile des Hochbaus; - Bauteile, auf die Außenluft, nicht jedoch z.B. Niederschläge, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken können und/oder die nicht ständig einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80 % ausgesetzt werden.
WF	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist.	<ul style="list-style-type: none"> - Ungeschützte Außenbauteile, die z.B. Niederschlägen, Oberflächenwasser oder Bodenfeuchte ausgesetzt sind; - Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, wie z.B. Hallenbäder, Wascheimer und andere gewerbliche Feuchträume, in denen die relative Luftfeuchte überwiegend höher als 80 % ist; - Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung, wie z.B. Schornsteine, Wärmeüberträgerstationen, Filterkammern und Viehställe; - Massige Bauteile gemäß DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“, deren kleinste Abmessung 0,80 m überschreitet (unabhängig vom Feuchtezutritt).

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsclassen
WA	Beton, der zusätzlich zu der Beanspruchung nach Klasse WF häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt wird.	<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 hoher dynamischer Beanspruchung und direktem Alkalieintrag ausgesetzt ist.	<ul style="list-style-type: none"> - Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z. B. Betonfahrbahnen)

Bei der Betonbestellung muss die Feuchtekategorie zusammen mit den anderen Expositionsclassen an den Betonhersteller weitergegeben werden. Der Betonhersteller stellt durch die Auswahl der Gesteinskörnung und des Zementes sicher, dass die Anforderungen der Richtlinie eingehalten werden. Auf dem Lieferschein werden die Expositionsclassen und die Feuchtekategorie mit ausgewiesen.

ANMERKUNG: Feuchtkategorie „Feucht + Alkalizufuhr von außen + starke dynamische Beanspruchung“ (WS)

Die Beschreibung der Feuchtkategorie WS wurde in das System der Expositionsclassen nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 übernommen und kann grundsätzlich weiter verwendet werden. Der Feuchtkategorie WS werden Betonfahrbahnen der Bauklassen SV und I bis III gemäß RStO zugeordnet. Anforderungen an die Betonzusammensetzung, die sich aus den vorbeugenden Maßnahmen für diese Feuchtkategorie nach Teil 3 der Richtlinie, Abschnitt 3, ergeben, werden dagegen über diese Berichtigung außer Kraft gesetzt. Für die Festlegung der vorbeugenden Maßnahmen sind die TL Beton-StB sowie die Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau des BMVBS zu beachten.

6.2.1.2 Grenzwerte für die Expositionsklassen bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser nach DIN 4030-1

Die folgende Klasseneinteilung chemisch angreifender Umgebungen gilt für natürliche Böden und Grundwasser mit einer Wasser- bzw. Bodentemperatur zwischen 5 °C und 25 °C und einer Fließgeschwindigkeit des Wassers, die klein genug ist, um näherungsweise hydrostatische Bedingungen anzunehmen.

ANMERKUNG: Hinsichtlich Vorkommen und Wirkungsweise von chemisch angreifenden Böden und Grundwasser siehe DIN 4030-1. Der schärfste Wert für jedes einzelne chemische Merkmal bestimmt die Klasse. 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.

Grundwasser

Chemisches Merkmal	Referenzprüfverfahren	XA1 (schwach)	XA2 (mäßig)	XA3 (stark)
SO ₄ ²⁻ mg/l ⁽¹⁾	DIN EN 196-2	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3.000	> 3.000 und ≤ 6.000
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 ≤ 1.000	> 1.000 und ≤ 3.000	> 3.000 bis zur Sättigung

Boden

Chemisches Merkmal	Referenzprüfverfahren	XA1 (schwach)	XA2 (mäßig)	XA3 (stark)
SO_4^{2-} mg/kg ³⁾ insgesamt	DIN EN 196-2 ⁴⁾	≥ 2.000 und ≤ 3.000 ³⁾	> 3.000 ⁵⁾ und ≤ 12.000	> 12.000 und ≤ 24.000
Säuregrad	DIN 4030-2	> 200 Baumann-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

¹⁾ Falls der Sulfatgehalt des Grundwassers > 600 mg/l beträgt, ist dies im Rahmen der Festlegung des Betons anzugeben.

²⁾ Gülle kann, unabhängig vom NH_4^+ -Gehalt, in die Expositionsklasse XA1 eingestuft 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; Wasserauslaugung darf stattdessen 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 3.000 mg/kg auf 2.000 mg/kg zu vermindern.

Sulfatwiderstand von Beton

Bei Sulfatgehalten über 600 mg SO_4^{2-} je Liter Wasser oder über 3.000 mg SO_4^{2-} je kg lufttrockenen Bodens ist ein Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS- bzw. SR-Zement) zu verwenden.

Anstelle von HS-Zement darf eine Mischung aus Zement und Flugasche eingesetzt werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Sulfatgehalt des angreifenden Wassers $\text{SO}_4^{2-} \leq 1.500 \text{ mg/l}$
- Zementart CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-V, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL oder CEM III/A sowie Portlandkompositzemente nach Tabelle F3.2 Anhang F, DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 CEM II/A-M mit den Hauptbestandteilen S, V, T, LL und Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-T)
- Der Flugascheanteil bezogen auf den Gehalt an Zement und Flugasche (z+f) muss bei den Zementarten CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-V, und CEM II/A-LL sowie bei Portlandkompositzementen nach Tabelle F3.2 Anhang F, DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 CEM II/A-M mit den Hauptbestandteilen S, V, T, LL und Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-T) mindestens 20 % (Massenanteil), bei den Zementarten CEM II/A-T, CEM II/B-T und CEM III/A mindestens 10 % (Massenanteil) sein.

ANMERKUNG: Mit der Einführung der neuen DIN 1164-10, die voraussichtlich Mitte 2013 erscheinen wird, sind die Zemente mit hohem Sulfatwiderstand zukünftig durch die DIN EN 197-1 (Ausgabe 2011) geregelt.

Hinweis: Eine Abmischung von z.B. CEM I-SR 3 und CEM III/B-SR besitzt keine SR-Eigenschaft.

6.2.1.3 Expositionsklassen nach DIN 1045-2 (Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1)

Zusammenstellung ausgewählter Angaben aus Tabelle 1, und aus Anhang F (normativ) Tabellen F2.1 und F2.2 o.g. Norm

Expositions- klasse	Angriffsart	Mindest- zementgehalt ³⁾ [kg/m³]
	Umgebungs- bedingungen	
XO ¹⁾	kein Korrosions- oder Angriffsrisiko	
	—	—
XC	Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung	
XC1	trocken oder ständig nass	240
XC2	nass, selten trocken	240
XC3	mäßige Feuchte	260
XC4	wechselnd nass und trocken	280
XD	Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride, ausgenommen Meerwasser	
XD1	mäßige Feuchte	300
XD2	nass, selten trocken	320
XD3	wechselnd nass und trocken	320

Fortsetzung S. 224/225

Fußnoten zu den Expositionsklassen

- ¹⁾ Nur für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall.
- ²⁾ Normal- und Schwerbeton (gilt nicht für Leichtbeton).
- ³⁾ Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.

	Mindestzementgehalt³⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen [kg/m³]	maximaler Wasser/ Zement-Wert	Mindestdruck- festigkeitsklasse²⁾
	—	—	C8/10
	240	0,75	C16/20
	240	0,75	C16/20
	240	0,65	C20/25
	270	0,60	C25/30
	270	0,55	C30/37 C25/30 (LP) ¹²⁾
	270	0,50	C35/45 ¹⁵⁾ C30/37 (LP) ¹²⁾
	270	0,45	C35/45 C30/37 (LP) ¹²⁾

⁴⁾ 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 angerechnet werden. Bei gleichzeitiger Zugabe von Flugasche und Silikastaub ist eine Anrechnung auch für die Flugasche ausgeschlossen.

⁵⁾ Höchstzementgehalt 360 kg/m³, jedoch nicht bei hochfesten Betonen.

⁶⁾ Anforderung an Gesteinskörnungen F4.

6.2.1.3 Expositionsklassen nach DIN 1045-2 (Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1)

Expositions- klasse	Angriffsart	Mindest- zementgehalt ³⁾ [kg/m³]
	Umgebungs- bedingungen	
XS	Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride aus Meerwasser	
XS1	salzhaltige Luft, aber kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	300
XS2	unter Wasser	320
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	320
XF	Frostangriff mit oder ohne Taumittel	
XF1	mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel	280
XF2	mäßige Wassersättigung, mit Taumittel	320 300
XF3	hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	320 300
XF4	hohe Wassersättigung, mit Taumittel	320

Fortsetzung S. 226/227

Fußnoten zu den Expositionsklassen (Fortsetzung)

⁷⁾ Anforderung an Gesteinskörnungen MS 25.

⁸⁾ Anforderung an Gesteinskörnungen F2.

⁹⁾ Anforderung an Gesteinskörnungen MS 18.

¹⁰⁾ Schutzmaßnahmen für den Beton sind erforderlich.

¹¹⁾ Es dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 verwendet werden.

	Mindestzementgehalt³⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen [kg/m³]	maximaler Wasser/ Zement-Wert	Mindestdruck- festigkeitsklasse²⁾
ser			
	270	0,55	C30/37 C25/30 (LP) ¹²⁾
	270	0,50	C35/45 ¹⁵⁾ C30/37 (LP) ¹²⁾
	270	0,45	C35/45 C30/37 (LP) ¹²⁾
	270	0,60	C25/30 ⁶⁾
	270 ⁴⁾ 270 ⁴⁾	0,50 ⁴⁾ 0,55 ⁴⁾	C35/45 ^{7), 15)} C25/30 (LP) ⁷⁾
	270 270	0,50 0,55	C35/45 ^{8), 15)} C25/30 (LP) ⁸⁾
	270 ⁴⁾	0,50 ⁴⁾	C30/37 (LP) ^{9), 16)}

¹²⁾ Wenn gleichzeitig XF, dann auch Anforderungen aus dieser Expositionsklasse berücksichtigen. 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.-% / 63 mm \geq 3,5 Vol.-% betragen. Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten. Die Fußnote ¹⁵⁾ darf in diesem Fall nicht angewendet werden.

6.2.1.3 Expositionsklassen nach DIN 1045-2 (Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1)

Expositions- klasse	Angriffsart	Mindest- zementgehalt ³⁾ [kg/m³]
	Umgebungs- bedingungen	
XA	Betonkorrosion durch chemischen Angriff	
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung nach Tabelle 2 DIN EN 206-1/DIN 1045-2	280
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung nach Tabelle 2 DIN EN206-1/DIN 1045-2 und Meeresbauwerke	320
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung nach Tabelle 2 DIN EN206-1/DIN 1045-2	320
XM	Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung¹¹⁾	
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	300 ⁵⁾
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	320 ⁵⁾ 300 ⁵⁾
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung	320 ⁵⁾

Fußnoten zu den Expositionsklassen (Fortsetzung)

¹³⁾ Oberflächenbehandlung des Betons, z.B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons.

¹⁴⁾ Einstreuen von Hartstoffe nach DIN 1100.

¹⁵⁾ Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1, Abschnitt 4.3.1 ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. Die Fußnote ¹²⁾ darf in diesem Fall nicht angewendet werden.

	Mindestzementgehalt³⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen [kg/m³]	maximaler Wasser/ Zement-Wert	Mindestdruck- festigkeitsklasse²⁾
	270	0,60	C25/30
	270	0,50	C35/45 ¹⁵⁾ C30/37 (LP) ¹²⁾
	270	0,45	C35/45 ¹⁰⁾ C30/37 (LP) ^{10), 12)}
	270	0,55	C30/37 C25/30 (LP) ¹²⁾
	270 270	0,45 0,55	C35/45, C 30/37 (LP) ¹²⁾ C30/37 ¹³⁾ , C25/30 (LP) ^{12), 13)}
	270	0,45	C35/45 ¹⁴⁾ C30/37 (LP) ^{12), 14)}

¹⁶⁾ Erdfeuchter Beton mit $w/z \leq 0,40$ darf ohne Luftporen hergestellt werden.

6.2.2 Konsistenzklassen

Wird die Konsistenz von Beton in Klassen eingeteilt, gelten nachfolgende Tabellen. Die bevorzugten Prüfverfahren sind die Prüfung des Ausbreitmaßes und für steifere Betone des Verdichtungsmaßes.

Die Konsistenzklassen sind nicht direkt vergleichbar.

6.2.2.1 Ausbreitmaßklassen

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

¹⁾ erlaubte Abweichung alle Werte ± 30 mm

²⁾ Bei einem Ausbreitmaß > 700 mm DAFStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ beachten.

6.2.2.2 Verdichtungsmaßklassen

Klasse	Verdichtungsmaß	Konsistenzbeschreibung
C0	≥ 1,46	sehr steif
C1	1,45 bis 1,26 ¹⁾	steif
C2	1,25 bis 1,11 ²⁾	plastisch
C3	1,10 bis 1,04 ³⁾	weich
C4 ⁴⁾	< 1,04	–

¹⁾ ≥ 1,26 erlaubte Abweichung ± 0,10

²⁾ 1,25 - 1,11 erlaubte Abweichung ± 0,08

³⁾ ≤ 1,10 erlaubte Abweichung ± 0,05

⁴⁾ C4 gilt nur für Leichtbeton

6.2.2.3 Setzmaßklassen

Klasse	Setzmaß in mm
S1	10 bis 40
S2	50 bis 90
S3	100 bis 150
S4	160 bis 210
S5	≥ 220

6.2.2.4 Setzzeitklassen (Vébé)

Klasse	Setzzeitmaß in s
V0	≥ 31
V1	30 bis 21
V2	20 bis 11
V3	10 bis 6
V4	5 bis 3

6.2.3 Druckfestigkeitsklassen

In DIN EN 206-1 ist der Bereich der Druckfestigkeitsklassen um den des **hochfesten Betons** erweitert. Zusätzlich ist **Leichtbeton**, erweitert um höhere Druckfestigkeitsklassen, aufgeführt.

Die Druckfestigkeitsklassen werden durch zwei Prüfgrößen bestimmt. Der erste Wert ist die

Zylinderdruckfestigkeit = $f_{ck, cyl.}$ (Zyl.: $l = 300 \text{ mm}$; $\varnothing = 150 \text{ mm}$),

der zweite Wert ist die

Würfeldruckfestigkeit = $f_{ck, cube}$ (Würfel: Kantenlänge = 150 mm).

Normal- und Schwerbeton wird mit dem Buchstaben „**C**“ (concrete = Beton), **Leichtbeton** mit den Buchstaben „**LC**“ (light weight concrete = Leichtbeton) vor den Druckfestigkeitsklassen kenntlich gemacht.

6.2.3.1 Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton nach DIN EN 206-1

Normal- und Schwerbeton		
Druckfestigkeitsklasse	$f_{ck, cyl.}^{1)}$ [N/mm ²]	$f_{ck, cube}^{1), 2)}$ [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

Hochfester Normal- und Schwerbeton		
Druckfestigkeitsklasse	$f_{ck, cyl.}^{1)}$ [N/mm ²]	$f_{ck, cube}^{1), 2)}$ [N/mm ²]
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

¹⁾ Lagerung 28 Tage unter Wasser

²⁾ Bei Lagerung nach DIN EN 12390-2, Anhang NA siehe Kap. 6.5.1.2

6.2.3.2 Druckfestigkeitsklassen für Leichtbeton nach DIN EN 206-1

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

Hochfester Leichtbeton		
Druckfestigkeitsklasse	$f_{ck, cyl.}^{1)}$ [N/mm ²]	$f_{ck, cube}^{1)}$ [N/mm ²]
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

¹⁾ Lagerung 28 Tage unter Wasser

6.2.4 Rohdichteklassen

Der Beton kann auch nach seiner Rohdichte unterschieden werden.

Betonart	Trockenrohichte [kg/m ³]	
Leichtbeton	≥ 800	≤ 2.000
Normalbeton	> 2.000	≤ 2.600
Schwerbeton	> 2.600	

Einteilung von Leichtbeton nach Rohdichteklassen (Grenzwerte)

Rohdichte- klasse	D 1,0	D 1,2	D 1,4	D 1,6	D 1,8	D 2,0
Rohdichte- bereich [kg/m ³]	≥ 800 ≤ 1.000	> 1.000 ≤ 1.200	> 1.200 ≤ 1.400	> 1.400 ≤ 1.600	> 1.600 ≤ 1.800	> 1.800 ≤ 2.000

6.3 Anforderungen an Beton

6.3.1 Grundanforderungen an die Ausgangsstoffe für die Verwendung in Beton

Die Ausgangsstoffe dürfen schädliche Bestandteile nicht in derartigen Mengen enthalten, dass diese sich auf die Dauerhaftigkeit des Betons nachteilig auswirken können oder eine Korrosion der Bewehrung verursachen. Sie müssen für die Verwendung in Beton geeignet sein.

Ist die allgemeine Eignung eines Ausgangsstoffes nachgewiesen, bedeutet dies nicht die Eignung für jeden Anwendungsfall und jede Betonzusammensetzung.

Es dürfen nur Ausgangsstoffe mit festgestellter Eignung für die festgelegte Anwendung in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 verwendet werden.

ANMERKUNG: Wenn keine Norm für einen bestimmten Ausgangsstoff vorhanden ist, die sich ausdrücklich auf die Verwendung dieses Ausgangsstoffes in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 bezieht, oder wenn eine bestehende Norm diesen Ausgangsstoff nicht beinhaltet oder wenn der Ausgangsstoff wesentlich von der Norm abweicht, darf der Eignungsnachweis erbracht werden durch

- eine Europäische Technische Zulassung, die sich ausdrücklich auf die Verwendung des Ausgangsstoffes in Beton nach DIN EN 206-1 bezieht, oder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, in welcher die Verwendbarkeit der Ausgangsstoffe für Beton nach dieser Norm festgestellt wird, oder
- die in den folgenden Abschnitten genannten Normen oder als Technische Baubestimmungen eingeführten Richtlinien.

6.3.1.1 Zement

(siehe auch Kap. 1.3, S. 50)

Als geeignet gilt Zement nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-11, DIN 1164-12 und nach DIN EN 14216.

6.3.1.2 Gesteinskörnung

(siehe auch Kap. 2, S. 105)

Als geeignet gelten:

- Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620
- leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1
- rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100

6.3.1.3 Zugabewasser

(siehe auch Kap. 5, S. 193)

Als geeignet gilt Zugabewasser nach DIN EN 1008.

6.3.1.4 Zusatzmittel

(siehe auch Kap. 3, S. 165)

Als geeignet gelten Zusatzmittel nach DIN EN 934-2.

6.3.1.5 Zusatzstoffe (einschließlich Gesteinsmehl und Pigmente)

(siehe auch Kap. 4, S. 185)

Die Eignung als Zusatzstoff des Typs I ist nachgewiesen für Gesteinsmehl nach DIN EN 12620 und für Pigmente nach DIN EN 12878.

Die Eignung als Zusatzstoff Typ II ist nachgewiesen für Flugasche nach DIN EN 450 und für Trass nach DIN 51043.

6.3.1.6 Fasern

Als geeignet gelten:

- Stahlfasern, lose nach DIN EN 14889-1 mit Konformitätsbescheinigung „1“
- Stahlfasern, geklebt oder in Dosierverpackungen nach DIN EN 14889-1 mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung
- Polymerfasern nach DIN EN 14889-1 mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung

6.3.2 Grundanforderungen an die Zusammensetzung des Betons

Die Betonzusammensetzung und die Ausgangsstoffe für Beton nach Eigenschaften oder Beton nach Zusammensetzung müssen so ausgewählt werden (siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, 6.1), dass unter Berücksichtigung des Herstellungsverfahrens und des gewählten Ausführungsverfahrens für die Betonarbeiten die festgelegten Anforderungen für Frischbeton und Festbeton, einschließlich Konsistenz, Rohdichte, Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Schutz des eingebetteten Stahls gegen Korrosion erfüllt werden.

Sofern in den Festlegungen keine Einzelheiten angegeben sind, muss der Hersteller Art und Klasse der Ausgangsstoffe mit nachgewiesener Eigenschaft für die festgelegten Umweltbedingungen auswählen.

ANMERKUNG 1: Sofern nicht anders festgelegt, sollte der Beton so entworfen werden, dass Entmischen und Bluten des Frischbetons möglichst gering gehalten werden.

ANMERKUNG 2: Die erforderlichen Betoneigenschaften im Tragwerk werden für gewöhnlich nur erreicht, wenn bestimmte Ausführungsabläufe, die den Frischbeton betreffen, am Ort der Verwendung des Betons erfüllt sind. Deswegen sollten in Ergänzung zu den Anforderungen aus DIN EN 206-1/DIN 1045-2 Anforderungen an Transport, Einbau, Verdichten, Nachbehandlung und weitere Maßnahmen berücksichtigt werden, bevor der Beton festgelegt wird (siehe DIN 1045-3 oder andere relevante Normen). Viele dieser Anforderungen sind oft voneinander abhängig. Wenn alle diese Anforderungen erfüllt sind, werden Unterschiede der Betongüte zwischen Bauwerk und genormten Probekörpern durch den Teilsicherheitsbeiwert des Baustoffes angemessen abgedeckt (siehe DIN 1045-1).

Für **Standardbeton** gelten folgende Beschränkungen:

- Verwendung natürlicher Gesteinskörnungen
- keine Verwendung von Zusatzstoffen
- keine Verwendung von Zusatzmitteln
- Mindestzementgehalt nach Tabelle unter 6.6.4.1, S. 290
- Zementart nach Tabellen 6.3.2.2, 6.3.2.3, 6.3.2.4, S. 240-244

6.3.2.1 Wahl des Zementes

Der Zement muss aus den Zementen ausgewählt werden, deren allgemeine Eignung nachgewiesen wurde, wobei folgendes zu berücksichtigen ist:

- Ausführung der Arbeiten
- Endverwendung des Betons
- Nachbehandlungsbedingungen (z.B. Wärmebehandlung)
- Maße des Bauwerks (Wärmeentwicklung)
- Umgebungsbedingungen, denen das Bauwerk ausgesetzt wird (siehe Kap. 6.3.2.2, S. 240 ff.)
- Mögliche Reaktivität der Gesteinskörnung gegenüber den Alkalien (siehe Kap. 2, S. 105 ff.)

6.3.2.2 Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12 und FE-Zemente sowie CEM I-SE und CEM II-SE nach DIN 1164-11 zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2¹⁾

Expositionsklassen X = gültiger Anwendungsbereich O = für die Herstellung nach dieser Norm nicht verwendbar			kein Korrosions-/Angriffsrisiko X0	Bewehrungskorrosion						
				durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride verursachte Korrosion		
								andere Chloride als Meerwasser		
				XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
CEM I			X	X	X	X	X	X	X	X
CEM II	A/B	S	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	D	X	X	X	X	X	X	X	X
	A/B	P/Q	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	V ⁹⁾	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	V ⁹⁾	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	W ⁹⁾	X	X	X	O	O	O	O	O
	B	W ⁹⁾	X	O	X	O	O	O	O	O
	A/B	T	X	X	X	X	X	X	X	X
	A	LL	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	LL	X	X	X	O	O	O	O	O
	A	L	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	L	X	X	X	O	O	O	O	O
	A	M ^{5),9)}	X	X	X	O	O	O	O	O
	B	M ^{5),9)}	X	O	X	O	O	O	O	O
	A		X	X	X	X	X	X	X	X
	B		X	X	X	X	X	X	X	X
CEM III			X	O	X	O	O	O	X	O
CEM IV ^{5),9)}			X	O	X	O	O	O	O	O
			X	O	X	O	O	O	O	O
CEM V ^{5),9)}			X	O	X	O	O	O	O	O
			X	O	X	O	O	O	O	O

Fußnoten ¹⁾ bis ¹⁰⁾ siehe auf S. 244/245

			Betonangriff										Spannstahl- verträglichkeit
			Frostangriff				Aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
Chloride aus Meerwasser													
XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ⁴⁾	XM1	XM2	XM3	
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	0
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X
X	X	X	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X	X	X	X	X	X	X ²⁾	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X ³⁾	X	X	X	X	X	X	X
0	X	0	0	0	0	0	X	X	X	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.3.2.3 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 X = gültiger Anwendungsbereich O = für die Herstellung nach dieser Norm nicht verwendbar			kein Korrosions-/Angriffsrisiko X0	Bewehrungskorrosion							
				durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride verursachte Korrosion			
								andere Chloride als Meerwasser			
				XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	
CEM II	A	S-D; S-T; S-LL; D-T; D-LL; T-LL; S-V ⁹⁾ ; V-T ⁹⁾ ; V-LL ⁹⁾	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-P; D-P; D-V ⁹⁾ ; P-V ⁹⁾ ; P-T; P-LL	X	X	X	X	X	X	X	X	
	B	M S-D; S-T; D-T; S-V ⁹⁾ ; V-T ⁹⁾	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-P; D-P; D-V ⁹⁾ ; P-T; P-V ⁹⁾	X	X	X	X	X	X	X	X	
		S-LL ¹⁰⁾ ; D-LL; P-LL; V-LL ⁹⁾ , ¹⁰⁾ ; T-LL	X	X	X	O	O	O	O	O	

Fußnoten ¹⁾ bis ¹⁰⁾ siehe S. 244/245

			Betonangriff										Spannstahl- verträglichkeit
			Frostangriff				Aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
Chloride aus Meerwasser													
XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ⁴⁾	XM1	XM2	XM3	
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X ⁶⁾
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	0	X	0	X	X	X	X	X	X	X ⁶⁾
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X ⁶⁾

6.3.2.4 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 X = gültiger Anwendungsbereich O = für die Herstellung nach dieser Norm nicht verwendbar			kein Korrosions-/Angriffsrisiko X0	Bewehrungskorrosion						
				durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride verursachte Korrosion		
								andere Chloride als Meerwasser		
				XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
CEM IV	B	P ⁷⁾								
CEM V	A	S-P ⁸⁾	X	X	X	X	X	X	X	X
	B	S-P ⁸⁾								

1) Sollen Zemente, die nach dieser Tabelle nicht anwendbar sind, verwendet werden, bedürfen sie einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung.

2) Festigkeitsklasse $\geq 42,5$ N oder Festigkeitsklasse $\geq 32,5$ 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 ≥ 340 kg/m³.

b) Räumerlaufbahnen $w/z \leq 0,35$; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und ≥ 360 kg/m³; 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- bzw. SR-Zement) verwendet werden. Zur Herstellung von Beton mit hohem Sulfatwiderstand darf bei einem Sulfatgehalt des angreifenden Wassers von $\text{SO}_4^{2-} \leq 1.500$ mg/l anstelle von HS-Zement eine Mischung aus Zement und Flugasche verwendet werden (siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, 5.2.5.2.2).

ANMERKUNG: Mit der Einführung der neuen DIN 1164-10, die voraussichtlich Mitte 2013 erscheinen wird, sind die Zemente mit hohem Sulfatwiderstand zukünftig durch die DIN EN 197-1 (Ausgabe 2011) geregelt.

			Betonangriff										Spannstahl- verträglichkeit
			Frostangriff				Aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
Chloride aus Meerwasser													
XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ⁴⁾	XM1	XM2	XM3	
X	X	X	X	0	X	0	X	X	X	X	0	0	0

⁵⁾ Spezielle Kombinationen können günstiger sein. Für CEM II-M-Zemente mit drei Hauptbestandteilen s. Tabelle 6.3.2.3 (S. 242). Für CEM IV- und CEM V-Zemente mit zwei bzw. drei Hauptbestandteilen s. Tabelle 6.3.2.4 (S. 244).

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 % (Massenanteil).

⁸⁾ Gilt nur für Trass nach DIN 51043 als Hauptbestandteil.

⁹⁾ Zemente zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2 dürfen nur Flugaschen mit bis zu 5 % Glühverlust enthalten.

¹⁰⁾ Für diese SCHWENK Zemente liegt eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vor. Danach können diese Zemente für alle Expositionsklassen eingesetzt werden.

6.3.2.5 Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 14216 zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2¹⁾

Expositionsklassen X = gültiger Anwen- dungsbereich 0 = für die Herstellung nach dieser Norm nicht verwendbar		kein Korro- sions-/ Angriffs- risiko X0	Bewehrungskorrosion							
			durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				durch Chloride verur- sachte Korrosion			
							andere Chloride als Meerwasser			
			XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	
VLH	III/B	X	0	X	0	0	0	X	0	
	III/C									
	IV/A ⁹⁾	X	0	X	0	0	0	0	0	
	IV/B ⁹⁾									
	V/A ⁹⁾									
V/B ⁹⁾										

Fußnoten ^{1), 4)} und ⁹⁾ siehe S. 244/245

			Betonangriff										Spannstahl- verträglichkeit
			Frostangriff				Aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
Chloride aus Meerwasser													
XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ⁴⁾	XM1	XM2	XM3	
0	X	0	0	0	0	0	X	X	X	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.3.2.6 Wahl der Gesteinskörnungen (siehe auch Kap. 2, S. 105 ff.)

Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 dürfen verwendet werden. Die Art der Gesteinskörnung, die Korngröße und die Kategorien, z.B. plattige Kornform, Frostwiderstand, Widerstand gegen Abrieb, Feinstoffe sind auszuwählen, wobei folgendes zu berücksichtigen ist:

- Ausführung der Arbeiten
- Endverwendung des Betons
- Umgebungsbedingungen, denen der Beton ausgesetzt wird
- gegebenenfalls Anforderungen an Gesteinskörnung, die an der Bauteiloberfläche frei liegt oder an Gesteinskörnung bearbeiteter Betonoberflächen.

Das Nennmaß des Größtkorns der Gesteinskörnung (D_{\max}) ist unter Berücksichtigung der Betondeckung und der kleinsten Querschnittsmaße auszuwählen.

ANMERKUNG: Die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnungen wird durch die in DIN EN 12620, Abschnitt 4.3 Anforderungen definiert.

■ **Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung:**

Natürlich zusammengesetzte (nicht aufbereitete) Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 darf nur für Beton der Druckfestigkeitsklasse $\leq C12/15$ verwendet werden.

■ **Wiedergewonnene Gesteinskörnung:**

Aus Restwasser oder aus Frischbeton wiedergewonnene Gesteinskörnung darf für Beton verwendet werden.

Nicht getrennt aufbereitete wiedergewonnene Gesteinskörnung darf mit höchstens 5 % der Gesamtmenge der Gesteinskörnung zugefügt werden. Wenn die Mengen der wiedergewonnenen Gesteinskörnung mehr als 5 % der Gesamtgesteinskörnung betragen, müssen sie von der gleichen Art wie der Primärzuschlag sein und die wiedergewonnene Gesteinskörnung muss in Grob- und Feinkorn getrennt sein und die Anforderungen nach DIN EN 12620 erfüllen. Die wiedergewonnene

Gesteinskörnung muss so ausgewaschen sein, dass keine Kornbindung und somit gleichmäßiges Untermischen möglich ist.

■ **Rezyklierte Gesteinskörnungen:**

Für die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen ist die DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100“ zu beachten. Es dürfen nur die Gesteinskörnungstypen 1 und 2 nach DIN 4226-100 verwendet werden.

■ **Leichte Gesteinskörnungen:**

Für die Herstellung von Normalbeton mit leichten Gesteinskörnungen und Leichtbeton können als leichte Gesteinskörnungen Lava (Lava-schlacke), Naturbims, Tuff, Blähton, Blähschiefer, Blähglas, gesinter-te Flugasche, Ziegelsplitt aus ungebrauchten Ziegeln, Hüttenbims nach DIN 4301 und Kesselsand nach DIN EN 13055-1 verwendet werden.

6

6.3.3 Grundanforderungen bei Widerstand gegen Alkali-Kieselsäure-Reaktion

(siehe auch Kap. 2, S. 136 ff.)

Enthält die Gesteinskörnung Arten von Kieselsäure, die empfindlich auf den Angriff von Alkalien (Na_2O und K_2O aus dem Zement oder anderen Quellen) reagieren, und ist der Beton Feuchte ausgesetzt, sind Vorsichtsmaßnahmen nachgewiesener Eignung zu ergreifen, um eine schädliche Alkali-Kieselsäure-Reaktion zu verhindern.

ANMERKUNG: Es sollten Vorsichtsmaßnahmen entsprechend dem geologischen Ursprung der Gesteinskörnung unter Berücksichtigung von Langzeiterfahrungen mit besonderen Kombinationen von Zement und Gesteinskörnung ergriffen werden.

Für die Beurteilung und Verwendung von Gesteinskörnungen, die schädliche Mengen an alkalilöslicher Kieselsäure enthalten, oder bei denen diese nicht sicher auszuschließen sind sowie für die ggf. beim Beton zu

ergreifenden Maßnahmen ist die „Alkali-Richtlinie“ des DAfStb anzuwenden.

Für die Herstellung von hochfestem Beton sind hinsichtlich Alkalireaktion unbedenkliche Gesteinskörnungen zu verwenden.

6.3.4 Einflüsse der Bestandteile des Betons bei der Verwendung von alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen

6.3.4.1 Zement

Da der wirksame Alkaligehalt des Betons zum überwiegenden Teil aus dem Zement stammt, kann er, wie für bestimmte Fälle vorgesehen, durch die Verwendung von Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt (NA-Zement) nach DIN 1164-10 und durch Begrenzung des Zementgehaltes deutlich vermindert werden.

6.3.4.2 Gesteinskörnung

(siehe Kap. 2, S. 105 ff.)

6.3.4.3 Betonzusatzstoffe

- Für Betonbauteile mit Gesteinskörnung der Alkaliempfindlichkeitsklassen E II-O, E II-OF, E III-O, E III-OF oder E III-G und mit der Feuchtigkeitsklasse WF oder WA dürfen Betonzusatzstoffe verwendet werden, wenn dies nach den geltenden Bestimmungen für das jeweilige Anwendungsgebiet in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik geregelt ist.
- Der wirksame Alkaligehalt von Steinkohlenflugasche ist mit 1/6 des Gesamtalkaligehaltes der Flugasche anzusetzen. (Für Steinkohlenflugasche gilt DIN EN 450 in Verbindung mit Anlage 1.6 der Bauordnungsliste A Teil 1).
- Der wirksame Alkaligehalt aller Betonzusatzstoffe darf 600 g/m^3 nicht überschreiten.

6.3.4.4 Betonzusatzmittel

- Für Betonbauteile mit Gesteinskörnung der Alkaliempfindlichkeitsklassen E II-O, E II-OF, E III-O, E III-OF oder E III-G und mit der Feuchtigkeitsklasse WF oder WA dürfen nur Betonzusatzmittel nach DIN EN 934-2 oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik verwendet werden, die die zusätzlichen Anforderungen der „Richtlinien für die Erteilung von Zulassungen für Betonzusatzmitteln (Zulassungsrichtlinien)“ an ihren Alkaligehalt bei Beton mit alkaliempfindlichem Gesteinskörnung erfüllen.
- Der Gesamtalkaligehalt aller Betonzusatzmittel darf 600 g/m^3 Beton nicht überschreiten.
- Wird dem Beton nur ein Betonzusatzmittel zugegeben, so darf dieses auch ohne die oben genannten Voraussetzungen für Betonbauteile mit Zuschlag der Alkaliempfindlichkeitsklassen E II-O, E II-OF, E III-O, E III-OF und E III-G und mit der Feuchtigkeitsklasse WF oder WA verwendet werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
 - 1) Alkaligehalt (Na_2O -Äquivalent) des Betonzusatzmittels $\leq 8,5 \text{ M.-%}$
 - 2) Zugabemenge des Betonzusatzmittels, bezogen auf den Zementgehalt $\leq 2,0 \text{ M.-%}$
 - 3) Zementgehalt des Betons $\leq 350 \text{ kg/m}^3$.

6.3.4.5 Zugabewasser

Wenn alkaliempfindliche Gesteinskörnungen im Beton verwendet werden, muss das Wasser auf seinen Alkaligehalt geprüft werden. Der Alkaligehalt des Wassers, ausgedrückt als Na_2O -Äquivalent, darf üblicherweise nicht mehr als 1.500 mg/l betragen. Wenn dieser Grenzwert überschritten wird, darf das Wasser nur verwendet werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass Maßnahmen zur Vermeidung schädlicher Alkalisilicatreaktionen ergriffen worden sind.

ANMERKUNG: Siehe CEN-Report CR 1901 „Regionale Festlegungen und Empfehlungen für die Vermeidung von schädlichen Alkalisilicatreaktionen im Beton“ (Regional specifications and recommendations for the avoidance of damaging alkali silica reactions in concrete).

6.3.5 Verwendung von Zusatzstoffen

(siehe Kap. 4, S. 185 ff.)

6.3.6 Verwendung von Zusatzmitteln

(siehe Kap. 3, S. 165 ff.)

Betonzusatzmittel nach DIN EN 934-2 dürfen verwendet werden.

Die Gesamtmenge an Zusatzmitteln darf weder die vom Zusatzmittelhersteller empfohlene Höchstdosierung noch 50 g/kg Zement im Beton überschreiten, sofern nicht der Einfluss einer höheren Dosierung auf die Leistungsfähigkeit und die Dauerhaftigkeit des Betons nachgewiesen wurde. Bei Verwendung mehrerer Betonzusatzmittel unterschiedlicher Wirkungsgruppen bis zu einer insgesamt zugegebenen Menge von 60 g/kg Zement ist ein besonderer Nachweis nicht erforderlich. Bei Verwendung von Zementen nach DIN 1164-11 oder DIN 1164-12 in Kombination mit mehreren Betonzusatzmitteln unterschiedlicher Wirkungsgruppen ist die Zugabe der Betonzusatzmittel auf 50 g/kg Zement begrenzt.

Für hochfeste Betone ist die Zugabemenge eines verflüssigenden Betonzusatzmittels auf 70 g/kg bzw. 70 ml/kg Zementmenge begrenzt, sofern dessen Verwendbarkeit mit einer Zugabemenge von $> 5\%$ (Massenanteil), bezogen auf Zement, mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nachgewiesen ist. Bei Verwendung mehrerer Betonzusatzmittel unterschiedlicher Wirkungsgruppen darf die insgesamt zugegebene Menge 80 g/kg bzw. 80 ml/kg Zementmenge nicht überschreiten. Bei Verwendung von Zementen nach DIN 1164-11 oder DIN 1164-12 in Kombination mit mehreren Betonzusatzmitteln unterschiedlicher Wirkungsgruppen ist die Zugabe der Betonzusatzmittel auf 70 g/kg Zement begrenzt.

Zusatzmittelmengen unter 2 g/kg Zement sind nur erlaubt, wenn sie in einem Teil des Zugabewassers aufgelöst sind.

Falls die Gesamtmenge flüssiger Zusatzmittel größer als 3 l/m^3 Beton ist, muss die darin enthaltene Wassermenge bei der Berechnung des Wasserzementwertes berücksichtigt werden.

Wird mehr als ein Zusatzmittel zugegeben, muss die Verträglichkeit der Zusatzmittel in der Erstprüfung untersucht werden.

Beton der Konsistenzklassen $\geq \text{S4}$, V4 und $\geq \text{F4}$ ist mit Fließmitteln herzustellen.

6.3.7 Verwendung von Restwasser

(siehe Kap. 5, S. 193 ff.)

Bei der Verwendung von Restwasser ist für Betone bis einschließlich der Festigkeitsklasse C50/60 oder LC50/55 die DIN EN 1008 zu beachten.

Für die Herstellung von hochfestem Beton und LP-Beton darf Restwasser nicht verwendet werden.

6.3.8 Chloridgehalt

Der Chloridgehalt im Beton, ausgedrückt als Massenanteil von Chloridionen im Zement, darf den Wert für die gewählte Klasse der Tabelle 6.3.8.1 (S. 255) nicht überschreiten.

Die Anforderungen an den Chloridgehalt gelten als erfüllt, wenn der Chloridgehalt jedes Ausgangsstoffes (außer Gesteinskörnungen und außer Zementart CEM III) den Anforderungen der geringsten Einstufung des für den Ausgangsstoff gültigen Regelwerks genügt. Für den Chloridgehalt von Gesteinskörnungen gelten folgende Grenzwerte:

- 0,15 M.-% für Beton ohne Betonstahlbewehrung oder eingebettetes Metall
- 0,04 M.-% für Beton mit Betonstahlbewehrung oder anderem eingebetteten Metall
- 0,02 M.-% für Beton mit Spannstahlbewehrung.

Für Zementart CEM III gilt als Grenzwert

- 0,10 M.-% für alle Betone.

Calciumchlorid und chloridhaltige Zusatzmittel dürfen Beton mit Betonstahlbewehrung, Spannstahlbewehrung oder anderem eingebetteten Metall nicht hinzugefügt werden.

6.3.8.1 Höchstzulässiger Chloridgehalt von Beton

Betonverwendung	Klasse des Chloridgehaltes	Höchstzulässiger Chloridgehalt, bezogen auf den Zement ¹⁾ im Massenanteil
Ohne Betonstahlbewehrung oder anderes eingebettetes Metall (mit Ausnahme von korrosionsbeständigen Anschlagvorrichtungen)	Cl 1,0	1,0 %
Mit Betonstahlbewehrung oder anderem eingebetteten Metall	Cl 0,40	0,40 %
Mit Spannstahlbewehrung	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 im Massenanteil und der Gesamtmasse der zu berücksichtigenden Zusatzstoffe, ausgedrückt.

Wird der Chloridgehalt des Betons ermittelt, muss die Summe der diesbezüglichen Anteile der einzelnen Ausgangsstoffe mit einem der folgenden Verfahren oder einer Kombination daraus bestimmt werden:

- Berechnung auf der Grundlage des höchstzulässigen Chloridgehaltes des Ausgangsstoffes, der entweder nach der Norm für den Ausgangsstoff erlaubt ist oder vom Hersteller des jeweiligen Ausgangsstoffes angegeben wurde.
- Berechnung auf der Grundlage des Chloridgehaltes der Ausgangsstoffe, der sich monatlich aus dem Mittelwert der letzten 25 Prüfungen des Chloridgehaltes ergibt, zuzüglich der 1,64-fachen Standardabweichung für jeden Ausgangsstoff.

ANMERKUNG: Das letztere Verfahren ist hauptsächlich anwendbar für aus dem Meer gewonnene Gesteinskörnung und für die Fälle, für die es keinen vom Hersteller angegebenen oder genormten Höchstwert gibt.

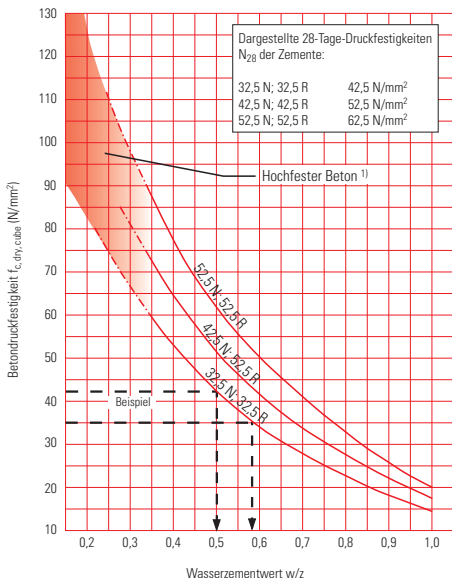
6.3.9 Betontechnologie

6.3.9.1 Walz-Kurven

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

Den Walz-Kurven kann entnommen werden, welcher w/z-Wert erforderlich ist, um die angestrebte Betondruckfestigkeit zu erreichen. Der Grenzwert für den w/z-Wert aus den Expositionsklassen muss unabhängig davon eingehalten werden.

Betondruckfestigkeit $f_{c, \text{dry, cube}}$ in Abhängigkeit vom w/z-Wert und von der Zementdruckfestigkeit (Walz-Kurven)



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

Beispiel:

Gegeben: CEM II/A-S 32,5 R

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

Lösung: $w/z = 0,58$

6.3.9.2 Stoffraumrechnung

Die Stoffraumrechnung ist die rechnerische Ermittlung der Zusammensetzung des Frischbetonvolumens (i.d.R. für 1 m^3) aus dem Volumen der Ausgangsstoffe.

Grundlage ist die folgende Gleichung (ohne Berücksichtigung der Gesteinskörnungsfeuchte):

$$1.000 = \frac{z}{\rho_z} + \frac{f}{\rho_f} + \frac{w}{\rho_w} + \frac{g}{\rho_g} + p \quad (\text{dm}^3)$$

z	- Zementgehalt	(kg/m^3)
f	- Zusatzstoffgehalt (z. B. Flugasche, Silikastaub, Gesteinsmehl)	(kg/m^3)
w	- Wassergehalt	(kg/m^3)
g	- Gehalt an Gesteinskörnung	(kg/m^3)
p	- Porenvolumen	(dm^3/m^3)
ρ_z	- Dichte des Zementes	(kg/dm^3)
ρ_f	- Dichte der Zusatzstoffe	(kg/dm^3)
ρ_w	- Dichte des Wassers	(kg/dm^3)
ρ_g	- Rohdichte der Gesteinskörnung	(kg/dm^3)

Beispiel:

Gegeben:

- Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2
- Art des Betons: Stahlbeton/Außenbauteil
(XC4, XF1, WF)
- Druckfestigkeitsklasse: C25/30
- Konsistenzklasse: F3
- Gesteinskörnung: $D_{\max} 16\text{mm}$, $\rho_g = 2,6 \text{ kg/dm}^3$
- Sieblinie: A/B16
- Zement: CEM II/A-S 32,5 R, $\rho_z = 3,05 \text{ kg/dm}^3$,
($N_{28} = 48,0 \text{ N/mm}^2$)
- Mindestanforderungen für
Stahlbeton/Außenbauteil
Expositionsklassen XC4/XF1: max. $w/z = 0,60$
Zementgehalt $\geq 280 \text{ kg/m}^3$
Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30
- Probekörperlagerung nach DIN 12390-2, Anhang NA ($f_{c, \text{dry, cube}}$)
- 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 C25/30 gilt:

- Berücksichtigung Vorhaltemaß: $f_{cm, cube} \geq f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2$
 $f_{cm, cube} \geq 30 + 8 = 38 \text{ N/mm}^2$
- Einfluss aus Probekörperlagerung: $f_{c, cube} = 0,92 \cdot f_{c, dry, cube}$
 $f_{c, dry, cube} \geq 38/0,92 = 41,3 \text{ N/mm}^2$
- Gewählte Druckfestigkeit: $f_{c, dry, cube} = 42 \text{ N/mm}^2$
- Aus Abbildung der Walz-Kurve folgt: $w/z = 0,50$

2. Wassergehalt w:

Für Sieblinie A/B16 folgt aus Tabelle 2.5.3.1 $k = 3,75$

Für $k = 3,75$ und Konsistenzklasse F3 folgt aus Abbildung 2.5.3.2

$$w = 190 \text{ kg/m}^3$$

3. Zementgehalt z:

$$z = \frac{w}{w/z} = \frac{190}{0,50} = 380 \text{ kg/m}^3$$

4. Gehalt an Gesteinskörnung:

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

$$1.000 = \frac{380}{3,05} + \frac{190}{1,0} + \frac{g}{2,6} + 15$$

$$g = \left(1.000 - \frac{380}{3,05} - \frac{190}{1,0} - 15 \right) \cdot 2,6 = 1.743 \text{ kg/m}^3$$

6.3.10 Betontemperatur

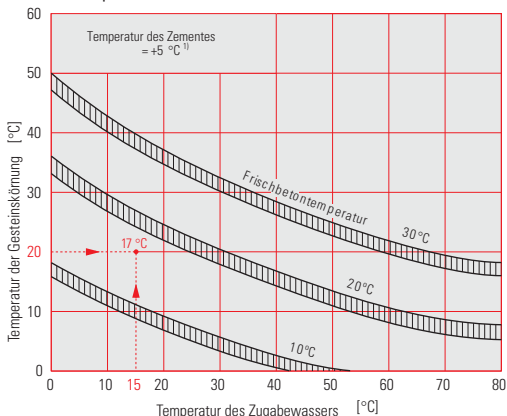
6.3.10.1 Frischbetontemperatur

Die Temperatur des Frischbetons beeinflusst beim Betoniervorgang die Verarbeitungszeit des Betons und später die Festigkeitsentwicklung. Bei niedrigen Temperaturen erfolgt die Festigkeitsentwicklung langsam, bei hohen Temperaturen schnell.

Die Frischbetontemperatur darf zum Zeitpunkt der Lieferung nicht unter $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen. Wenn eine Anforderung für eine andere Mindesttemperatur oder eine Höchsttemperatur für Frischbeton erforderlich ist, sind diese mit zulässigen Abweichungen festzulegen. Jede Anforderung hinsichtlich künstlichen Kühlens oder Erwärmens des Betons vor der Lieferung muss zwischen Hersteller und Verwender vereinbart werden.

■ Ermittlung der Betontemperatur durch graphisches Verfahren.

Graphische Darstellung der Frischbetontemperatur in Abhängigkeit von der Temperatur der Gesteinskörnung und des Zugabewassers bei einer Zementtemperatur von $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



¹⁾ Eine 10 K höhere Zementtemperatur erhöht die Frischbetontemperatur um 1 K.

Beispiel:

bekannt:

Temperatur der Gesteinskörnung: 20 °C

Temperatur des Anmachwassers: 15 °C

Temperatur des Zementes: 55 °C

gesucht:

Frischbetontemperatur

Ergebnis:

Aus Diagramm (S. 260): 17 °C

+ Korrektur Zementtemperatur: 5 K

= Frischbetontemperatur: 22 °C

6

■ Ermittlung der Betontemperatur durch rechnerisches Verfahren.

Die Frischbetontemperatur wird von den Temperaturen der Komponenten des Betons und deren Wärmekapazität Q bestimmt:

Q = Masse je m³ · spezifische Wärmekapazität C [J]

C_w = 4,2 kJ/kg · K für Wasser

C_{z,g,f} = 0,84 kJ/kg · K für Zement, Gesteinskörnung und Zusatzstoff

Berechnung der Frischbetontemperatur T_b

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

wobei:

T_b = Temperatur des Frischbetons

T_{z,g,f,w} = Temperatur von Zement, Gesteinskörnung, Zusatzstoff, Wasser

z, g, f, w = Masse in kg von Zement, Gesteinskörnung, Zusatzstoff, Wasser

Beispiel:

bekannt:

Temperatur der Gesteinskörnung: 20 °C

Temperatur des Anmachwassers: 15 °C

Temperatur des Zementes: 55 °C

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

$g = 1.900 \text{ kg/m}^3$

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

Gesucht: Frischbetontemperatur

$$T_b = \frac{0,84 (300 \cdot 55 + 1.900 \cdot 20) + 4,2 \cdot 175 \cdot 15}{0,84 (300 + 1.900) + 4,2 \cdot 175} = 22 \text{ °C}$$

Die Frischbetontemperatur beträgt 22 °C.

Nach DIN 1045-3 gilt Folgendes:

- Die Frischbetontemperatur darf im Allgemeinen +30 °C nicht überschreiten, sofern nicht durch geeignete Maßnahmen sichergestellt ist, dass keine nachteiligen Folgen zu erwarten sind.
- Bei Lufttemperaturen zwischen +5 °C und -3 °C darf die Temperatur des Betons beim Einbringen +5 °C nicht unterschreiten. Sie darf +10 °C nicht unterschreiten, wenn der Zementgehalt im Beton kleiner ist als 240 kg/m³ oder wenn Zemente mit niedriger Hydratationswärme verwendet werden.
- Bei Lufttemperaturen unter -3 °C muss die Betontemperatur beim Einbringen mindestens +10 °C betragen.
Sie sollte anschließend wenigstens 3 Tage auf mindestens +10 °C gehalten werden. Andernfalls ist der Beton so lange zu schützen, bis eine ausreichende Festigkeit erreicht ist.

- Während der ersten Tage der Hydratation darf der Beton in der Regel erst dann durchfrieren, wenn seine Temperatur vorher wenigstens 3 Tage $+10\text{ °C}$ nicht unterschritten hat oder wenn er bereits eine Druckfestigkeit von $f_{cm} = 5\text{ N/mm}^2$ erreicht hat.

Die **Gefrierbeständigkeit** kann bei folgenden Randbedingungen angenommen werden:

- Zementgehalt $\geq 270\text{ kg/m}^3$
- w/z-Wert $\leq 0,60$
- Schutz gegen starken Feuchtigkeit Zutritt (z.B. Niederschläge)
- Einsatz von rasch erhärtendem Zement (32,5 R; 42,5 N; 42,5 R; 52,5 N und 52,5 R)
- Betontemperatur mind. 3 Tage $\geq 10\text{ °C}$.

Erforderl. Erhärtungszeit (Tage) zur Erreichung der Gefrierbeständigkeit (Richtwerte):

Zement- festigkeits- klasse	Wasser- zement- wert	Erforderliche Erhärtungszeit in Tagen bei einer Betontemperatur von		
		5 °C	12 °C	20 °C
52,5 N; 52,5 R; 42,5 R	0,4	1/2	1/4	1/4
	0,6	3/4	1/2	1/2
42,5 N; 32,5 R	0,4	1	3/4	1/2
	0,6	2	1 1/2	1
32,5 N	0,4	2	1 1/2	1
	0,6	5	3 1/2	2

Nach der DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ gilt:

Bei massigen Bauteilen soll eine möglichst niedrige Frischbetontemperatur angestrebt werden.

6.3.10.2 Festbetontemperatur

Ermittlung der Festbetontemperatur

Die sich im Kern eines Bauteils einstellende maximale Festbetontemperatur ist unter anderem abhängig vom Zementgehalt, der Hydratationswärme des Zementes, der Frischbetontemperatur, dem Wasserzementwert und der Bauteildicke.

Der Zeitpunkt der Erreichung der maximalen Kerntemperatur in einem Bauteilkern kann überschlägig wie folgt ermittelt werden:

$$\begin{array}{ll} d \leq 3,50 \text{ m} & \rightarrow t_{\max} = d + 0,5 \text{ (Tage)} \\ d \geq 3,50 \text{ m} & \rightarrow t_{\max} = d + 1,0 \text{ (Tage)} \end{array}$$

Hierin bedeuten:

d = Bauteildicke in m

t_{\max} = Tage bis zum Erreichen des Temperaturmaximums
im Kern des Bauteils

Die mögl. Temperatur T_{\max} im Kern eines Bauteils ergibt sich wie folgt:

$$T_{\max} = T + \Delta T_{\text{Kern}}$$

Hierin bedeuten:

T = Frischbetontemperatur in °C

ΔT_{Kern} = Temperaturanstieg im Kern durch Hydratation

Der sich im Kern ergebende Temperaturanstieg durch die Hydratation kann mit folgender Gleichung überschlägig ermittelt werden:

$$\Delta T_{\text{Kern}} = \frac{z \cdot H_{\text{Zement}}}{Q_{\text{Beton}}}$$

Hierin bedeuten:

Q_{Beton} = Wärmekapazität / (m^3 Beton) in $\text{kJ} / (\text{m}^3 \cdot \text{K})$

$Q_{\text{Beton}} = z \cdot c_z + w \cdot c_w + g \cdot c_g$

z = Zement in kg/m^3

w = Wasser in kg/m^3

g = Gesteinskörnung in kg/m^3

6

Spezifische Wärmekapazität der Ausgangsstoffe in $\text{kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$:

Zement: $c_z = 0,84$

Wasser: $c_w = 4,2$

normale Gesteinskörnung: $c_g = 0,84$

H_{Zement} : Hydratationswärme des Zementes in kJ/kg

Beispiel:

gegeben:

$z = 300 \text{ kg}/\text{m}^3$ $T = 20^\circ \text{C}$

$g = 1.900 \text{ kg}/\text{m}^3$ $d = 2,0 \text{ m}$

$w = 150 \text{ kg}/\text{m}^3$ CEM I 32,5 N-LH/HS

gesucht:

Maximaltemperatur im Kern eines Bauteiles?

Berechnung:

Zeitpunkt des Temperaturmaximums: $t_{\text{max}} = 2,0 + 0,5 = 2,5 \text{ Tage}$

Es kann aufgerundet mit 3 Tagen gerechnet werden. Damit kann sich für ein CEM I 32,5 N-LH/HS folgende Hydratationswärme ergeben:

$$H_{\text{Zement}} = 220 \text{ kJ/kg (siehe Kapitel 1.3.1.8)}$$

Wärmekapazität/m³ Beton:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Beton}} &= z \cdot c_z + w \cdot c_w + g \cdot c_g \\ &= 300 \cdot 0,84 + 150 \cdot 4,2 + 1.900 \cdot 0,84 \\ &= 2.478 \text{ kJ/(m}^3 \text{ K)} \end{aligned}$$

Temperaturanstieg im Kern:

$$\Delta T_{\text{Kern}} = \frac{z \cdot H_{\text{Zement}}}{Q_{\text{Beton}}} = \frac{300 \cdot 220}{2.478} = 27 \text{ K}$$

Zu erwartende Kerntemperatur:

$$T_{\text{max}} = T + \Delta T_{\text{Kern}} = 20 + 27 = 47 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

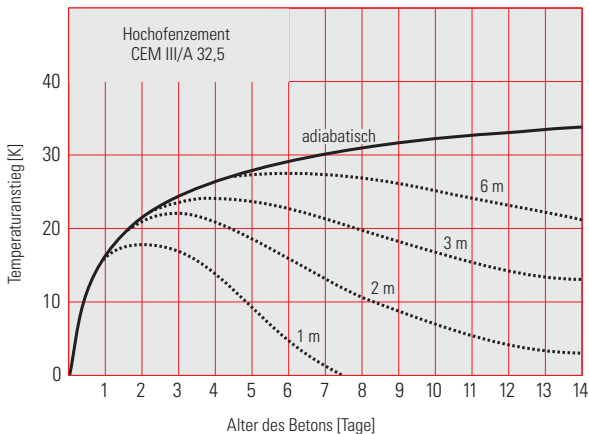
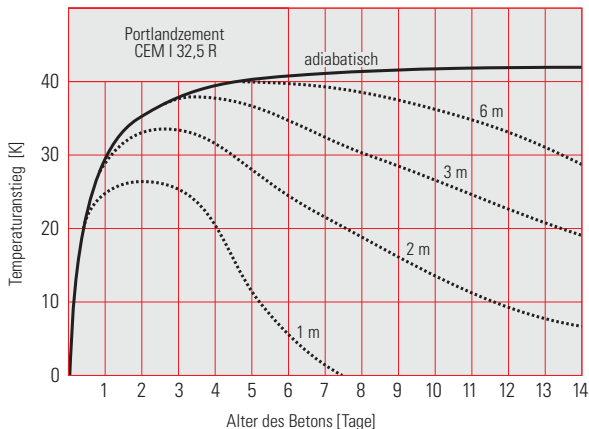
Die zu erwartende max. Kerntemperatur beträgt 47 °C.

Um Temperaturrisse zu verhindern, ist bei massigen Bauteilen dafür Sorge zu tragen, dass die Temperaturdifferenz zwischen der Bauteiloberfläche und dem Bauteilkern nicht größer als 15 K wird. Hier gilt: je niedriger die Temperaturdifferenz, desto besser.

Für das Beispiel bedeutet dies, dass die Oberflächentemperatur am dritten Tag > 32 °C sein muss. Dies ist z.B. durch Abdecken mit wärmedämmendem Material möglich.

Wärmeentwicklung (Massenbeton)

von Beton mit 300 kg Zement/ m^3 in Bauteilen verschiedener Dicke:



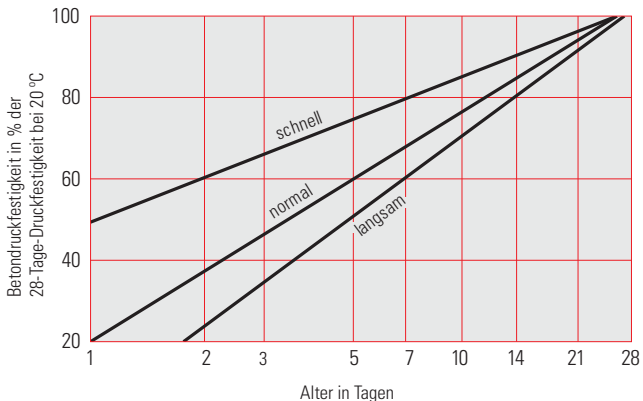
6.3.10.3 Festigkeitsentwicklung des Betons in Abhängigkeit von der Frischbetontemperatur

Das Erstarren und Erhärten des Zementes ist zum größten Teil ein chemischer Vorgang und deshalb stark temperaturabhängig. Hohe Beton- und Umgebungstemperaturen beschleunigen die Festigkeitsentwicklung des Betons, während niedrige Temperaturen diesen Vorgang verzögern. Bei einer Betontemperatur von 0 °C kommt die Festigkeitsentwicklung zum Stillstand.

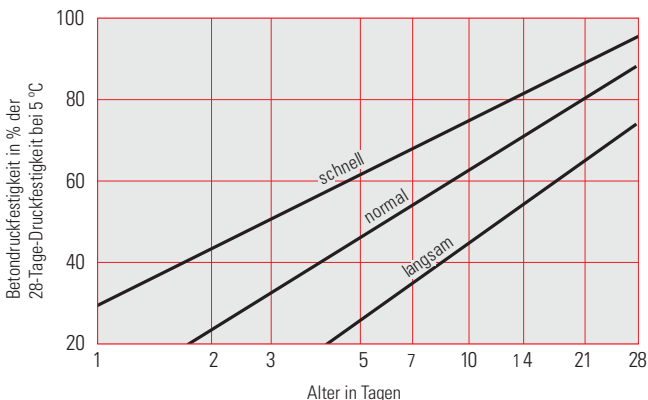
Einfluss der Zementart und Betontemperatur auf die Festigkeit

Festigkeits- und Wärmeentwicklung „schnell“, „normal“, „langsam“ siehe unter Kap. 1.3.1.8 (S. 59) Hydratationswärme.

Betontemperatur 20 °C:



Betontemperatur 5 °C:



6.3.11 Anforderungen in Abhängigkeit von Expositionsklassen

Die Anforderungen an Beton bezüglich des Widerstands gegen die Einwirkungen der Umgebung werden entweder in Grenzwerten für die Betonzusammensetzung und nachgewiesene Betoneigenschaften (siehe Kap. 6.3.11.1, S. 269) angegeben oder die Anforderungen dürfen aus leistungsbezogenen Entwurfsverfahren (siehe Kap. 6.3.12, S. 273) abgeleitet werden. Die Anforderungen müssen die beabsichtigte Nutzungsdauer des Betonbauwerks berücksichtigen.

6.3.11.1 Grenzwerte für die Betonzusammensetzung

Solange es aufgrund unterschiedlicher Langzeiterfahrungen keine europäischen Normen zur absoluten Prüfung der Leistungsfähigkeit von Beton gibt, werden die Anforderungen für das Verfahren zur Festlegung des Widerstands gegen Einwirkungen der Umgebung in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 als nachgewiesene Betoneigenschaften und Grenzwerte für die Zusammensetzung angegeben.

Die Anforderungen für jede Expositionsklasse müssen wie folgt angegeben werden:

- Zulässige Arten und Klassen von Ausgangsstoffen
- höchstzulässiger Wasserzementwert
- Mindestzementgehalt
- Mindestbetondruckfestigkeitsklasse (wahlweise)
und, falls erforderlich,
- Mindestluftgehalt des Betons.

ANMERKUNG 1: Es sollten der höchstzulässige Wasserzementwert in Stufen von 0,05, der Mindestzementgehalt in Stufen von 20 kg/m³, die Betondruckfestigkeit von Normal- und Schwerbeton nach Klassen der Tabelle 6.2.3.1 (S. 232) und von Leichtbeton nach Klassen der Tabelle 6.2.3.2 (S. 233) angegeben werden.

ANMERKUNG 2: Es sollten die Anforderungen unter der Annahme einer beabsichtigten Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren unter den vorausgesetzten Instandhaltungsbedingungen festgelegt werden. Für kürzere oder längere Nutzungsdauern können weniger einschränkende oder strengere Grenzwerte erforderlich sein. Diese Fälle oder besondere Betonzusammensetzungen oder besondere Korrosionsschutzanforderungen an die Betondeckung der Bewehrung (z.B. bei einer geringeren Betondeckung als in DIN 1045-1 für den Korrosionsschutz gefordert) sollten durch besondere Überlegungen des Verfassers der Festlegung für eine bestimmte Baustelle oder allgemein durch entsprechende Vorschriften berücksichtigt werden.

Bei Übereinstimmung des Betons mit den Grenzwerten gilt als nachgewiesen, dass er die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit für die beabsichtigte Verwendung unter den maßgebenden Umgebungsbedingungen erfüllt; dabei wird vorausgesetzt, dass

- der Beton ordnungsgemäß nach DIN 1045-3 oder anderen relevanten Normen eingebracht, verdichtet und nachbehandelt wird
- die Betondeckung der Bewehrung den Mindestwert in Übereinstimmung mit der einschlägigen Bemessungsnorm, z.B. DIN 1045-1, aufweist, der für die maßgebenden Umgebungsbedingungen erforderlich ist
- die geeignete Expositionsklasse ausgewählt wurde
- eine angemessene Instandhaltung durchgeführt wird.

Für die Anforderungen an Zusammensetzung und Eigenschaften des Betons gelten DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Anhang F (normativ) Tabellen F2.1¹⁾ und F2.2¹⁾ (normativ) sowie die folgenden Festlegungen.

Die Werte in den Tabellen F2.1 und F2.2 beziehen sich auf die Verwendung von Zementen nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12, DIN EN 14216 sowie auf FE-Zemente und CEM I-SE nach DIN 1164-11.

Die Anwendungsbereiche der Zemente sind in den Tabellen 6.3.2.2, 6.3.2.3 und 6.3.2.4 (S. 240-244) angegeben. Die Zemente dürfen in Beton für eine bestimmte Anwendung (Expositionsklasse) nur dann gemeinsam eingesetzt werden, wenn jeder der verwendeten Zemente nach Anhang F für den jeweiligen Anwendungsbereich des Betons zugelassen ist.

6.3.11.2 Mehlkorngesamt

Aus Gründen der Dauerhaftigkeit des Betons ist der Mehlkorngesamt begrenzt. Die Summe des Mehlkorngesamtes errechnet sich aus Zement + Kornanteil 0 – 0,125 mm aus den Gesteinskörnungen und gegebenenfalls Betonzusatzstoffen.

¹⁾ Siehe auch Tabellen 6.2.1.3, S. 222-227

Maximal zulässiger Mehlkorngesamt bis zur Betonfestigkeitsklasse C50/60 und LC50/55

Zementgehalt ¹⁾ [kg/m ³]	max. zul. Mehlkorngesamt [kg/m ³]		
	Expositionsklassen XF, XM		Expositionsklassen X0, XC, XD, XS, XA
	Größtkorn der Sieblinie des Betons 8 mm	Größtkorn der Sieblinie des Betons 16 bis 63 mm	Größtkorn der Sieblinie des Betons 8 bis 63 mm
≤ 300	450	400	550
≥ 350	500 ²⁾	450 ²⁾	550

¹⁾ Zwischen 300 kg und 350 kg ist der Mehlkorngesamt geradlinig zu interpolieren

²⁾ Diese Werte dürfen erhöht werden:

- wenn der Zementgehalt 350 kg/m³ übersteigt
- wenn ein puzzolanischer Zusatzstoff des Typs II (z.B. Flugasche, Silicastaub) verwendet wird, um den Gehalt des Betonzusatzstoffes, jedoch insgesamt (z. B. Zement + Flugasche + Silicastaub) um höchstens 50 kg/m³.

Maximal zulässiger Mehlkorngesamt ab der Betonfestigkeitsklasse C55/67 und LC55/60

Zementgehalt ¹⁾ [kg/m ³]	max. zul. Mehlkorngesamt [kg/m ³]	
	Expositionsklassen X0, XC, XD, XF, XA, XM	
	Größtkorn der Sieblinie des Betons 8 mm	Größtkorn der Sieblinie des Betons 16 bis 32 mm
≤ 400	550	500 ²⁾
450	600	550 ²⁾
≥ 500	650	600 ²⁾

¹⁾ Zwischen 400 kg, 450 kg und 500 kg ist der Mehlkorngesamt geradlinig zu interpolieren

²⁾ Die Werte dürfen erhöht werden, wenn ein puzzolanischer Zusatzstoff des Typs II verwendet wird, um den Gehalt des Betonzusatzstoffes, jedoch insgesamt um höchstens 50 kg/m³

Bei

- chemischem Angriff der Expositionsklasse XA3 oder stärker;
- hoher Fließgeschwindigkeit von Wasser und Mitwirkung von Chemikalien nach Tabelle 6.2.1.2 (S. 218) sind Schutzmaßnahmen für den Beton – wie Schutzschichten oder dauerhafte Bekleidungen – erforderlich, wenn nicht ein Gutachten eine andere Lösung vorschlägt.

Bei Anwesenheit anderer angreifender Chemikalien als in Tabelle 6.2.1.2 (S. 218) bzw. chemisch verunreinigtem Untergrund sind die Auswirkungen des chemischen Angriffs zu klären und ggf. Schutzmaßnahmen festzulegen.

6.3.12 Leistungsbezogene Entwurfsverfahren

Leistungsbezogene Entwurfsverfahren dürfen nur im Zusammenhang mit allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen oder Europäischen Technischen Zulassungen angewendet werden.

Die auf die Expositionsklassen bezogenen Anforderungen dürfen durch leistungsbezogene Entwurfsverfahren für die Dauerhaftigkeit nachgewiesen werden und als leistungsbezogene Parameter, z.B. Abblättern von Beton in einer Prüfung mit Frost-Tauwechsel, festgelegt werden. Leitlinien für die Verwendung eines alternativen leistungsbezogenen Entwurfsverfahrens für die Dauerhaftigkeit sind in DIN EN 206-1 Anhang J (informativ) angegeben.

6.3.13 Anforderungen an Unterwasserbeton

Muss der Beton für tragende Teile unter Wasser eingebracht werden, so soll er im Allgemeinen mindestens weiche Konsistenz haben (siehe auch DIN 1045-3). Der Wasserzementwert darf 0,60 nicht überschreiten. Der Wasserzementwert muss kleiner sein, wenn andere Beanspruchungen es erfordern (z.B. Expositionsklasse XA). Der Mindestgehalt an Zement muss bei Gesteinskörnungen mit einem Größtkorn von 32 mm mindestens 350 kg/m³ betragen.

Flugasche darf unter den Bedingungen in DIN EN 206-1/DIN 1045-2, 5.2.5.2.2 angerechnet werden (siehe auch Kap.4, S. 185 ff). Abweichend von 5.2.5.2.2 gilt jedoch:

- der Gehalt an Zement und Flugasche ($z+f$) darf 350 kg/m^3 nicht unterschreiten
- der äquivalente Wassorzementwert $(w/z)_{\text{eq}} = w/(z+0,7f)$ darf 0,60 nicht überschreiten.

Der Beton muss so beschaffen sein, dass er beim Einbringen als zusammenhängende Masse fließt, damit er auch ohne Verdichtung ein geschlossenes Gefüge erhält. Die Grenzwerte des Mehlkorngehaltes (siehe 6.3.11.2, S. 271) dürfen überschritten werden.

6.3.14 Beton beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Soll ein Beton ohne Oberflächenabdichtung für den Umgang mit flüssigen (einschließlich verflüssigter Gase) oder pastösen wassergefährdenden Stoffen dem Besorgnisgrundsatz des Wasserhaushaltsgesetzes genügen, so gilt neben den Anforderungen dieser Norm der DIN EN 206/DIN 1045-2 die DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“.

6.3.15 Beton für hohe Gebrauchstemperaturen

Der Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ist mit Gesteinskörnungen herzustellen, die sich für diese Beanspruchung als geeignet erwiesen haben.

ANMERKUNG: Weitere Informationen siehe Heft 337 des DAfStb.

6.3.16 Hochfester Beton

Für Beton der Druckfestigkeitsklassen C90/105 und C100/115 sowie für hochfesten Leichtbeton der Druckfestigkeitsklassen LC70/77 und LC80/88 ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

Für die Überwachung hochfester Betone gelten die Tabellen 22 bis 24 sowie H.1 bis H.3, in DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

6.3.17 Zementmörtel für Fugen

Zementmörtel für Fugen bei Fertigteilen und Zwischenbauteilen aus Betonen bis einschließlich C 50/60 muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Zement nach DIN EN 197, DIN 1164-10, DIN 1164-12 und FE-Zement nach DIN 1164-11 der Festigkeitsklasse 32,5 R oder höher soweit für die jeweilige Expositionsklasse nach Tabellen F3.1, F3.2 und F3.3 DIN EN 206-1/DIN 1045-21) zulässig.
- Zementgehalt min. 400 kg/m³.
- Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 und DIN EN 13055-1, gemischtkörnig, sauber, bis 4 mm.

6.4 Anforderungen an Frischbeton

6.4.1 Konsistenz

(siehe auch Kap. 6.2.2, S. 228)

Ist die Konsistenz des Betons zu bestimmen, muss sie entweder als

- Setzmaß nach DIN EN 12350-2
- Setzzeit (Vébé) nach DIN EN 12350-3
- Verdichtungsmaß nach DIN EN 12350-4¹⁾
- Ausbreitmaß nach DIN EN 12350-5¹⁾

oder bei bestimmter Anwendung (z.B. erdfechter Beton) mit besonderen, zwischen dem Verfasser der Festlegung und dem Hersteller des Betons vereinbarten Verfahren, gemessen werden.

Die bevorzugten Prüfverfahren sind die Prüfung des Ausbreitmaßes und, für steifere Betone, die Prüfung des Verdichtungsmaßes.

Bei Ausbreitmaßen über 700 mm ist die DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ zu beachten.

Hochfester Ortbeton muss die Konsistenzklasse F3 oder weicher haben.

ANMERKUNG: Wegen der fehlenden Empfindlichkeit der Prüfverfahren in bestimmten Konsistenzbereichen wird empfohlen, sie wie folgt zu verwenden:

Setzmaß	$\geq 10 \text{ mm}$ und $\leq 210 \text{ mm}$
Setzzeit (Vébé)	$\leq 30 \text{ s}$ und $> 5 \text{ s}$
Verdichtungsmaß ¹⁾	$\geq 1,04$ und $< 1,46$
Ausbreitmaß ¹⁾	$> 340 \text{ mm}$ und $\leq 620 \text{ mm}$

¹⁾ In Deutschland am gebräuchlichsten

Ist die Konsistenz des Betons zu bestimmen, muss dies zum Zeitpunkt der Verwendung des Betons oder – bei Transportbeton – zum Zeitpunkt der Lieferung des Betons geschehen.

Wird Beton in einem Fahrmischer oder in einem Fahrzeug mit Rührwerk geliefert, darf die Konsistenz an einer Stichprobe gemessen werden, die zu Beginn des Entladens entnommen wird. Die Stichprobe muss nach dem Entladen von etwa $0,3 \text{ m}^3$ Beton nach DIN EN 12350-1 entnommen werden. Eine ordnungsgemäße Stichprobe kann auch zu Beginn der Entladung entnommen werden, wenn der Beton gut durchgemischt und eine Veränderung des Wassergehaltes im Frischbeton vermieden wird.

Die Konsistenz darf entweder mit einer Konsistenzklasse nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 4.2.1 (siehe auch Tabellen 6.2.2.1 – 6.2.2.4, S. 228-229) oder in besonderen Fällen mit einem Zielwert festgelegt werden. Für die Zielwerte sind die zugehörigen Abweichungen in Tabelle 6.2.2.3 (S. 228) und 6.2.2.4 (S. 228) angegeben.

6.4.2 Zementgehalt und Wassorzementwert

Ist der Zement-, Wasser- oder Zusatzstoffgehalt zu ermitteln, muss der Zement-, Zusatzstoff- oder Wassergehalt entweder dem Protokollausdruck an der Mischanlage oder, bei Fehlen eines Aufzeichnungsgeräts, den Produktionsaufzeichnungen in Zusammenhang mit den Mischanweisungen für die Ladung entnommen werden.

Ist der Wassorzementwert des Betons zu ermitteln, muss er anhand der bestimmten Zementmenge und des wirksamen Wassergehaltes berechnet werden (für flüssige Zusatzmittel siehe Kap. 3, S. 165 ff). Die Wasseraufnahme von normaler und schwerer Gesteinskörnung ist nach DIN EN 1097-6 zu bestimmen. Als Wasseraufnahme grober leichter Gesteinskörnung im Frischbeton gilt der Wert, der nach einer Stunde nach dem in Anhang C von DIN EN 1097-6 angegebenen Verfahren erzielt wurde, wobei anstelle des ofentrockenen Zustands der tatsächlich verwendete Anfangsfeuchtezustand verwendet wird. Alternativ darf die

Wasseraufnahme der groben leichten Gesteinskörnung nach DIN V 18004 bestimmt werden. Beim Einsatz von leichten Gesteinskörnungen mit einem Größtkorn von 4 mm (Leichtsand) darf die Wasseraufnahme nach den in DIN V 18004 genannten Methoden ermittelt werden.

Wird anstelle des Mindestzementgehaltes der Mindestzement- + Zusatzstoff-Wert verwendet oder der äquivalente Wasserzementwert anstelle des Wasserzementwertes, ist das Verfahren mit den entsprechenden Änderungen anzuwenden.

Kein Einzelwert des ermittelten Wasserzementwertes darf den Grenzwert um mehr als 0,02 überschreiten.

Wird die Ermittlung des Zementgehaltes, des Zusatzstoffgehaltes oder des Wasserzementwertes des Frischbetons durch Prüfung gefordert, müssen das Prüfverfahren und die zulässigen Abweichungen zwischen dem Verfasser der Festlegung und dem Hersteller vereinbart werden.

ANMERKUNG: Siehe CEN Technischer Bericht CR 13902; Bestimmung des Wasserzementwertes von Frischbeton.

6.4.3 Luftgehalt

Ist der Luftgehalt des Betons zu ermitteln, muss er für Normal- und Schwerbeton nach DIN EN 12350-7 und für Leichtbeton nach ASTM C173 geprüft werden. Der Luftgehalt wird durch einen Mindestwert festgelegt.¹⁾ Als oberer Grenzwert des Luftgehaltes gilt der festgelegte Mindestwert plus 4 % absolut.

Für Fließbeton ist der Mindestluftgehalt um 1 % zu erhöhen. In diesem Fall ist das „Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton“ der FGSV zu beachten.

¹⁾ Siehe Tabelle 6.2.1.3 Fußnote 13) (S. 226)

6.4.4 Größtkorn der Gesteinskörnung

Wenn der Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung von Frischbeton zu ermitteln ist, muss die Gesteinskörnung nach DIN EN 933-1 geprüft werden.

Der nach DIN EN 12620 definierte Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung darf nicht größer als das festgelegte Größtkorn sein.

6.5 Anforderungen an Festbeton

6.5.1 Festigkeit

6.5.1.1 Allgemeines

Ist die Festigkeit zu ermitteln, muss entweder an Würfeln mit 150 mm Kantenlänge oder an 300 mm langen Zylindern mit 150 mm Durchmesser geprüft werden, die der DIN EN 12390-1 entsprechen und nach DIN EN 12390-2 hergestellt und gelagert sind und die von Proben stammen, die nach DIN EN 12350-1 entnommen sind.

Für den Nachweis der Festigkeit dürfen andere Probekörpergrößen und andere Lagerungsbedingungen verwendet werden, wenn die Korrelation zu den genormten Größen und Verfahren mit ausreichender Genauigkeit nachgewiesen und dokumentiert wurde.

6.5.1.2 Druckfestigkeit

Wenn die charakteristische Druckfestigkeit bestimmt wird, muss sie nach DIN EN 12390-3 als $f_{c, \text{cube}}^{1)}$ bezeichnet werden, wenn sie an würfelförmigen Probekörpern, und als $f_{c, \text{cyl}}^{1)}$, wenn sie an zylinderförmigen Prüfkörpern ermittelt wurde.

Ob die Druckfestigkeit durch Würfel- oder Zylinderprüfung oder durch ein anderes Verfahren nachzuweisen ist, muss in angemessener Zeit vor Beginn der Lieferung vom Hersteller angegeben werden. Wenn ein anderes Verfahren verwendet werden soll, ist dies zwischen dem Verfasser der Festlegung und dem Hersteller zu vereinbaren. Wenn nicht anders vereinbart, ist die Druckfestigkeit an Probewürfeln mit 150 mm Kantenlänge und unter den Lagerungsbedingungen nach DIN EN 12390-2, Anhang NA zu bestimmen. Die Druckfestigkeit bei Lagerung nach dem Referenzverfahren von DIN EN 12390-2 ($f_{c, \text{cube}}^{1)}$) darf aus der Druckfestigkeit bei Lagerung nach DIN EN 12390-2, Anhang NA ($f_{c, \text{dry}}^{2)}$) nach folgender Beziehung berechnet werden:

Normalbeton bis einschließlich C50/60:

$$f_{c, \text{cube}}^{1)} = 0,92 \times f_{c, \text{dry}}^{2)}$$

hochfester Normalbeton ab C55/67:

$$f_{c, \text{cube}}^{1)} = 0,95 \times f_{c, \text{dry}}^{2)}$$

Diese Beziehung gilt nur für die Umrechnung von Würfel-Druckfestigkeiten und berücksichtigt ausschließlich die unterschiedlichen Lagerungsbedingungen.

¹⁾ Lagerung 28 Tage unter Wasser

²⁾ Lagerung 7 Tage unter Wasser, 21 Tage an der Luft (20 °C, 65% relative Luftfeuchtigkeit)

Werden anstelle von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge solche mit 100 mm Kantenlänge verwendet, dann dürfen die Werte nach folgender Beziehung berechnet werden:

$$f_{c, \text{dry}}(150 \text{ mm})^2 = 0,97 \times f_{c, \text{dry}}(100 \text{ mm})^2$$

Sofern nicht anders festgelegt, ist die Druckfestigkeit an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. Für besondere Anwendungen kann es notwendig sein, die Druckfestigkeit zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt als 28 Tage, z.B. bei massigen Bauteilen, zu bestimmen oder nach Lagerung unter besonderen Bedingungen (z.B. Wärmebehandlung).

Die charakteristische Festigkeit des Betons muss gleich der oder größer als die minimale charakteristische Druckfestigkeitsklasse sein, siehe Tabelle 6.2.3.1, S. 232 Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton und Tabelle 6.2.3.2, S. 233 Druckfestigkeitsklassen für Leichtbeton.

Falls von der Prüfung der Druckfestigkeit zu erwarten ist, dass sie keine repräsentativen Werte liefert, z.B. bei Beton der Konsistenzklasse C0 oder steifer als S1 oder bei Vakuumbeton, ist das Prüfverfahren zu ändern oder es darf die Druckfestigkeit auch am bestehenden Bauwerk oder Bauteil beurteilt werden.

6.5.1.3 Spaltzugfestigkeit

Ist die Spaltzugfestigkeit des Betons zu ermitteln, muss sie nach DIN EN 12390-6 geprüft werden. Sofern nicht anders festgelegt, wird die Spaltzugfestigkeit an Probekörpern im Alter von 28 Tagen geprüft.

Die charakteristische Spaltzugfestigkeit des Betons muss gleich oder größer sein als die festgelegte charakteristische Spaltzugfestigkeit.

²⁾ Lagerung 7 Tage unter Wasser, 21 Tage an der Luft (20 °C, 65 % relative Luftfeuchtigkeit)

6.5.2 Rohdichte

Entsprechend seiner Rohdichte (ofentrocken) wird Beton als Normalbeton, Leichtbeton oder Schwerbeton definiert (siehe Kap. 6.1.2, S. 202).

Ist die Rohdichte (ofentrocken) des Betons zu ermitteln, muss sie nach DIN EN 12390-7 geprüft werden.

Für Normalbeton muss die Rohdichte (ofentrocken) größer als 2.000 kg/m^3 und darf nicht größer als 2.600 kg/m^3 sein. Für Leichtbeton muss die Rohdichte (ofentrocken) innerhalb der Grenzwerte für die festgelegte Rohdichteklasse liegen, siehe Tabelle 6.2.4 (S. 234). Für Schwerbeton muss die Rohdichte (ofentrocken) mehr als 2.600 kg/m^3 betragen. Wenn die Rohdichte als Zielgröße festgelegt ist, gilt eine zulässige Abweichung von $\pm 100 \text{ kg/m}^3$.

6.5.3 Wassereindringwiderstand

Wenn der Widerstand gegen Eindringen von Wasser an Probekörpern zu bestimmen ist, kann er nach DIN EN 12390-8 geprüft werden. Wenn der Beton einen hohen Wassereindringwiderstand haben muss, so muss er:

- bei Bauteildicken über 0,40 m einen Wasserzementwert $w/z \leq 0,70$ aufweisen
- bei Bauteildicken bis 0,40 m einen Wasserzementwert $w/z \leq 0,60$ sowie mindestens einen Zementgehalt von 280 kg/m^3 (bei Anrechnung von Zusatzstoffen 270 kg/m^3) aufweisen. Die Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30 ist einzuhalten.

Zu beachten ist die DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“.

6.5.4 Brandverhalten

Beton mit einer Zusammensetzung aus natürlicher Gesteinskörnung nach Kap. 6.3.1.2 (S. 236), Zement nach Kap. 6.3.1.1 (S. 236), Zusatzmittel nach Kap. 6.3.1.4 (S. 236), Zusatzstoffe nach Kap. 6.3.1.5 (S. 236) oder andere anorganische Ausgangsstoffe nach Kap. 6.3.1 (S. 235) ist als Euroklasse A klassifiziert und erfordert keine Prüfung.¹⁾

6.5.5 Verschleißwiderstand

Bei Beton mit Anforderungen an hohen Verschleißwiderstand müssen die Anforderungen an die Festigkeitsklasse, den Zementgehalt, den Wassermenge sowie an die Gesteinskörnung nach Tabelle 6.2.1.3 (S. 226, Fußnote 13) und die Anforderungen an den Mehlkorngemisch nach Tabelle F4.1 DIN EN 206-1/DIN 1045-2 eingehalten sein (siehe auch 6.3.11.2, S. 271).

ANMERKUNG: Die Körner aller Gesteinskörnungen, die für die Herstellung von Beton in den Expositionsklassen XM verwendet werden, sollten eine mäßig raue Oberfläche und eine gedrungene Gestalt haben. Das Gesteinskornmisch sollte möglichst grobkörnig sein.

¹⁾ Nach der Entscheidung der Kommission vom 9. September 1994 (94/611/EG), veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 241/25, 9. September 1994.

6.6 Festlegung des Betons

6.6.1 Allgemeines

Der Verfasser der Festlegung des Betons muss sicherstellen, dass alle relevanten Anforderungen für die Betoneigenschaften in der dem Hersteller zu übergebenden Festlegung enthalten sind. Der Verfasser der Festlegung muss auch alle Anforderungen an Betoneigenschaften festlegen, die für den Transport nach der Lieferung, 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 Festlegung vereinbart werden.

Der Verfasser der Festlegung muss Folgendes berücksichtigen:

- die Anwendung des Frisch- und Festbetons
- die Nachbehandlungsbedingungen
- die Abmessungen des Bauwerks (die Wärmeentwicklung)
- die Einwirkungen der Umgebung, denen das Bauwerk ausgesetzt wird, einschließlich der Feuchtekategorie
- gegebenenfalls alle Anforderungen an die Gesteinskörnung, die an der Bauteiloberfläche freiliegt, oder an bearbeitete Betonoberflächen
- gegebenenfalls alle Anforderungen, die sich aus der Betondeckung oder den Mindestquerschnittsmaßen ergeben, z.B. Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung
- gegebenenfalls alle Beschränkungen der Verwendung von Ausgangsstoffen mit allgemein nachgewiesener Eignung, z.B. aufgrund von Expositionsklassen. Beschränkungen der Verwendung von Ausgangsstoffen muss der Verfasser der Festlegung nur dann angeben, wenn sie sich nicht direkt oder indirekt aus den übrigen Angaben der Festlegung (z.B. aus den Expositionsklassen) ergeben.

Beton ist entweder als Beton nach Eigenschaften (siehe Kap. 6.6.2, S. 286) unter allgemeiner Berücksichtigung der Klasseneinteilung nach Kap. 6.2 (S. 207) und der Anforderungen nach Kap. 6.3.11 (S. 269), Kap. 6.5. (S. 279) oder als Beton nach Zusammensetzung (siehe 6.6.3, S. 288) durch Vorgabe der Betonzusammensetzung festzulegen. Grundlage für Entwerfen oder Vorgeben einer Betonzusammensetzung sind die Ergebnisse der Erstprüfungen oder Erkenntnisse aus Langzeiterfahrungen mit vergleichbarem Beton unter Berücksichtigung der Grundanforderungen für Ausgangsstoffe (siehe Kap. 6.3.1, S. 235) und der Betonzusammensetzung (siehe Kap. 6.3.2, S. 238 und Kap. 6.3.11.1, S. 269).

Bei Beton nach Zusammensetzung ist der Verfasser der Festlegung dafür verantwortlich sicherzustellen, dass die Festlegung mit den allgemeinen Anforderungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 übereinstimmt und dass die festgelegte Zusammensetzung in der Lage ist, die beabsichtigte Leistungsfähigkeit des Betons sowohl im frischen als auch im erhärteten Zustand zu erzielen. Der Verfasser der Festlegung muss unterstützende Unterlagen über die vorgegebene Zusammensetzung für die vorgesehene Leistungsfähigkeit aufbewahren und aktualisieren. Bei Standardbeton obliegt dies der Verantwortung der nationalen Normungsorganisationen.

ANMERKUNG 1: Bei Beton nach Zusammensetzung bezieht sich der Nachweis der Konformität ausschließlich auf die Erzielung der festgelegten Zusammensetzung und nicht auf eine vom Verfasser der Festlegung beabsichtigte Leistungsfähigkeit.

ANMERKUNG 2: Für Standardbeton wurden Anforderungen an die Betonzusammensetzung in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 auf der Grundlage von Erfahrungen auf der sicheren Seite liegend festgelegt. Eine Erstprüfung durch den Hersteller ist daher nicht erforderlich.

6.6.2 Festlegung für Beton nach Eigenschaften

6.6.2.1 Allgemeines

Beton nach Eigenschaften muss in allen Fällen durch die grundlegenden Anforderungen nach Kap. 6.6.2.2 (S. 286) und, falls erforderlich, durch zusätzliche Anforderungen nach Kap. 6.6.2.3 (S. 287) festgelegt werden.

Für die in der Festlegung verwendeten Abkürzungen siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

6.6.2.2 Grundlegende Anforderungen

Die Festlegung muss Folgendes enthalten:

- eine Anforderung nach Übereinstimmung mit DIN EN 206-1/DIN 1045-2
- Druckfestigkeitsklasse gegebenenfalls von 28 Tagen abweichender Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit. (siehe Kap. 6.2.3, S. 230)
- Expositionsklasse (siehe Kap. 6.2.1, S. 207 und Kap. 6.2.1.1, S. 208)
- Feuchtekategorie
- Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung
- Art der Verwendung des Betons (unbewehrter Beton, Stahlbeton, Spannbeton) oder Klasse des Chloridgehaltes nach Tabelle 6.3.8.1 (S. 255)

Für Leichtbeton gilt zusätzlich:

- Rohdichtekategorie oder Zielwert der Rohdichte

Für Schwerbeton gilt zusätzlich:

- Zielwert der Rohdichte

Für Transportbeton und Baustellenbeton gilt zusätzlich:

- Konsistenzklasse oder, in besonderen Fällen, Zielwert der Konsistenz

6.6.2.3 Zusätzliche Anforderungen

Die folgenden Punkte dürfen, falls zutreffend, als Leistungsanforderungen mit entsprechenden Prüfverfahren festgelegt werden:

- besondere Arten oder Klassen von Zement (z.B. Zement mit niedriger Hydratationswärme)
- besondere Arten oder Klassen von Gesteinskörnungen.

ANMERKUNG 1: In diesen Fällen ist der Verfasser der Festlegung für die Betonzusammensetzung zur Vermeidung schädlicher Alkali-Kieselsäure-Reaktionen verantwortlich (siehe Kap. 6.3.3, S. 249).

- erforderliche Eigenschaften für den Widerstand gegen Frosteinwirkung (z.B. Luftgehalt, siehe Kap. 6.4.3, S. 278)

ANMERKUNG 2: Bei der Festlegung des Luftgehaltes für den Zeitpunkt der Lieferung sollte der mögliche Luftverlust während des Pumpens, des Einbringens, des Verdichtens usw. nach der Lieferung vom Verfasser der Festlegung berücksichtigt werden. Zwischen dem Verfasser der Festlegung, dem Hersteller und dem Verwender sollte eine Abstimmung über den erforderlichen Luftgehalt erfolgen (siehe Kap. 6.4.3, S. 278).

- Anforderungen an die Frischbetontemperatur bei Abweichung von Kap. 6.3.10.1, S. 260
- Festigkeitsentwicklung (siehe Kap. 6.6.4.3, S. 292)
- Wärmeentwicklung während der Hydratation
- verzögertes Ansteifen
- Wassereindringwiderstand
- Abriebwiderstand
- Spaltzugfestigkeit (siehe Kap. 6.5.1.3, S. 281)
- andere technische Anforderungen (z.B. Anforderungen bezüglich des Erzielens einer besonderen Oberflächenbeschaffenheit oder bezüglich besonderer Einbringverfahren)

6.6.3 Festlegung für Beton nach Zusammensetzung

6.6.3.1 Allgemeines

Beton nach Zusammensetzung muss in allen Fällen durch die grundlegenden Anforderungen (siehe Kap. 6.6.3.2, S. 288) und, falls erforderlich, durch zusätzliche Anforderungen (siehe Kap. 6.6.3.3, S. 288) festgelegt werden.

6.6.3.2 Grundlegende Anforderungen

Die Festlegung muss Folgendes enthalten:

- eine Anforderung nach Übereinstimmung mit DIN EN 206-1/DIN 1045-2
- Zementgehalt
- Zementart und Festigkeitsklasse des Zementes
- entweder Wasserzementwert oder Konsistenz durch Angabe der Klasse oder, in besonderen Fällen, des Zielwertes

ANMERKUNG: Der festgelegte (Ziel-)Wert des Wasserzementwertes sollte um 0,02 unter dem jeweilig geforderten Grenzwert liegen.

- Art, Kategorie und maximaler Chloridgehalt der Gesteinskörnung, bei Leichtbeton oder Schwerbeton die Höchst- oder Mindestrohdichte der Gesteinskörnung
- Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung und gegebenenfalls Beschränkungen der Sieblinie
- Art und Menge der Zusatzmittel oder Zusatzstoffe, falls verwendet
- falls Zusatzmittel oder Zusatzstoffe verwendet werden, die Herkunft dieser Ausgangsstoffe und des Zementes, stellvertretend für Eigenschaften, die nicht anders definiert werden können

6.6.3.3 Zusätzliche Anforderungen

Die Festlegung darf Folgendes enthalten:

- Herkunft einiger oder aller Betonausgangsstoffe stellvertretend für Eigenschaften, die nicht anders definiert werden können
- zusätzliche Anforderungen an die Gesteinskörnung

- Anforderungen an die Frischbetontemperatur bei Lieferung, falls abweichend von 5.2.8 DIN EN 206-1/DIN 1045-2 (Kap. 6.3.10.1, S. 260)
- andere technische Anforderungen

6.6.3.4 Verantwortlichkeiten für die Festlegung der Eigenschaften, Betonprüfung, Zusammensetzung, Konformitäts- und Abnahmeprüfung

Verantwortung	Beton nach Eigenschaften	Beton nach Zusammensetzung
Verfasser der Leistungsbeschreibung	Festlegung der Eigenschaften	Festlegung der Eigenschaften, Erstprüfung
Hersteller	Erstprüfung Zusammensetzung Konformitätsprüfung	Zusammensetzung
Verwender	Annahmeprüfung Konformitätsprüfung	Annahmeprüfung

6.6.4 Festlegung für Standardbeton

Standardbeton ist durch folgende Angaben festzulegen:

- Druckfestigkeitsklasse
- Expositionsklasse
- Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung
- Konsistenzbezeichnung
- Festigkeitsentwicklung, falls erforderlich

Standardbeton darf nur verwendet werden für:

- Normalbeton für unbewehrte und bewehrte Betonbauwerke
- Druckfestigkeitsklassen für den Nachweis der Tragfähigkeit $\leq C16/20$
- Expositionsklassen X0, XC1, XC2

Für Standardbeton gelten folgende Beschränkungen:

- Verwendung ausschließlich natürlicher Gesteinskörnungen
- Keine Verwendung von Zusatzstoffen
- Keine Verwendung von Zusatzmitteln
- Zement nach Kap. 6.3.2.2, 6.3.2.3 und 6.3.2.4 (S. 240-244)

6.6.4.1 Mindestzementgehalt für Standardbeton mit einem Größtkorn von 32 mm und Zement der Festigkeitsklasse 32,5 nach DIN EN 197-1

Druckfestigkeits- klasse	Mindestzementgehalt in kg/m³ für Konsistenzbeschreibung		
	steif	plastisch	weich
C 8/10	210	230	260
C 12/15	270	300	330
C 16/20	290	320	360

Der Zementgehalt nach dieser Tabelle muss vergrößert werden um

- 10 % bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 16 mm
- 20 % bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm

Der Zementgehalt nach dieser Tabelle Zeilen 1-3 darf verringert werden um

- höchstens 10 % bei Zement der Festigkeitsklasse 42,5 und
- höchstens 10 % bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm

6.6.4.2 Lieferung von Frischbeton

■ Informationen vom Verwender an den Betonhersteller

Der Verwender muss mit dem Hersteller

- Lieferdatum, Uhrzeit, Menge und Abnahmegeschwindigkeit vereinbaren und den Hersteller gegebenenfalls über Folgendes informieren:
 - besonderer Transport auf der Baustelle

- besondere Einbauverfahren
- Beschränkungen bei den Lieferfahrzeugen, z.B. Art, Größe, Höhe oder Bruttogewicht

■ Informationen vom Betonhersteller an den Verwender

Der Verwender kann Angaben zur Betonzusammensetzung verlangen, die sowohl sachgerechtes Einbringen und Nachbehandeln des Frischbetons als auch die Abschätzung der Festigkeitsentwicklung erlauben. Solche Angaben muss der Hersteller auf Anfrage vor der Lieferung in zweckmäßiger Form zur Verfügung stellen. Folgende Angaben müssen auf Anfrage für Beton nach Eigenschaften erteilt werden:

- Art und Festigkeitsklasse des Zementes und Art der Gesteinskörnung
- Art der Zusatzmittel, Art und Gehalt der Zusatzstoffe, falls welche verwendet werden
- Zielgröße des Wasserzementwertes
- Ergebnisse einschlägiger, vorangegangener Prüfungen des Betons, z.B. aus der Produktionskontrolle oder von Erstprüfungen
- Festigkeitsentwicklung
- Herkunft der Ausgangsstoffe
- Bei Fließbeton Konsistenzklasse oder Zielwert der Konsistenz vor Zugabe des Fließmittels

Bei Transportbeton dürfen diese Angaben, falls verlangt, auch durch Verweis auf das Sortenverzeichnis des Herstellers ersetzt werden, in dem Angaben über die Festigkeitsklassen, die Konsistenzklassen, Einwaagen und andere wichtige Einzelheiten enthalten sind.

Für die Ermittlung der Nachbehandlungsdauer darf die Information über die Festigkeitsentwicklung des Betons entweder durch Werte nach folgender Tabelle oder durch eine Festigkeitsentwicklungskurve bei 20 °C zwischen 2 und 28 Tagen angegeben werden.

6.6.4.3 Festigkeitsentwicklung von Beton bei 20 °C

Festigkeitsentwicklung	Schätzwert des Festigkeitsverhältnisses $f_{cm,2}/f_{cm,28}$
Schnell	$\geq 0,5$
Mittel	$\geq 0,3$ bis $< 0,5$
Langsam	$\geq 0,15$ bis $< 0,3$
Sehr langsam	$< 0,15$

Das Festigkeitsverhältnis zur Bezeichnung der Festigkeitsentwicklung ist das Verhältnis der mittleren Druckfestigkeit nach 2 Tagen ($f_{cm,2}$) zur mittleren Druckfestigkeit nach 28 Tagen ($f_{cm,28}$) aus der Erstprüfung oder auf der Grundlage des bekannten Verhaltens von Beton mit vergleichbarer Zusammensetzung. Für die jeweiligen Erstprüfungen sind die Probekörper zur Festigkeitsermittlung nach DIN EN 12350-1, DIN EN 12390-1, DIN EN 12390-2 und DIN EN 12390-3 zu entnehmen, herzustellen, zu lagern und zu prüfen.

Erfolgt der Festigkeitsnachweis zu einem späteren Zeitpunkt gilt Folgendes:

Bei 56 Tage – Verhältniswert 2 Tage/56 Tage

Bei 90 Tage – Verhältniswert 2 Tage/90 Tage

Der Hersteller muss den Verwender entsprechend der gesetzlichen Regelungen auf Gesundheitsrisiken beim Umgang mit Frischbeton aufmerksam machen.

6.7 Nachbehandlung und Schutz von Beton nach DIN 1045-3

6.7.1 Allgemeines

Während der ersten Tage der Hydratation ist der Beton, falls nachfolgend nichts anderes festgelegt ist, nachzubehandeln und gegebenenfalls zu schützen, um:

- das Frühschwinden gering zu halten
- eine ausreichende Festigkeit und Dauerhaftigkeit der Betonrandzone sicherzustellen

- das Gefrieren zu verhindern
- schädliche Erschütterungen, Stoß oder Beschädigung zu vermeiden

6.7.2 Nachbehandlungsverfahren

- Die Nachbehandlungsverfahren müssen sicherstellen, dass ein übermäßiges Verdunsten von Wasser über die Betonoberfläche verhindert wird.
- Eine ausreichende Nachbehandlung ist ohne Anwendung der in Kap. 6.7.2 (S. 293) genannten Maßnahmen gegeben, wenn infolge natürlicher Bedingungen während der ersten Tage der Hydratation die Verdunstung über die Betonoberfläche nur gering ist (z.B. bei feuchtem, regnerischem oder nebligem Wetter). Dies ist der Fall, wenn die relative Luftfeuchte 85 % nicht unterschreitet.
- Folgende Verfahren sind sowohl allein als auch in Kombination für die Nachbehandlung geeignet:
 - Belassen in der Schalung
 - Abdecken der Betonoberfläche mit dampfdichten Folien, die an den Kanten und Stößen gegen Durchzug gesichert sind
 - Auflegen von wasserspeichernden Abdeckungen unter ständigem Feuchthalten bei gleichzeitigem Verdunstungsschutz
 - Aufrechterhalten eines sichtbaren Wasserfilms auf der Betonoberfläche (z.B. durch Besprühen, Fluten)
 - Anwendung von Nachbehandlungsmitteln mit nachgewiesener Eignung
- Andere Nachbehandlungsverfahren können angewendet werden, wenn sie die Anforderungen von Kap. 6.7.2, (S. 293) erfüllen.

6.7.3 Beginn der Nachbehandlung

Nach Abschluss des Verdichtens oder der Oberflächenbearbeitung des Betons ist die Oberfläche unmittelbar nachzubehandeln.

6.7.4 Nachbehandlungsdauer

- Die Nachbehandlungsdauer hängt von der Entwicklung der Betoneigenschaften in der Randzone ab.
- Bei Umweltbedingungen, die den Expositionsklassen nach DIN 1045-2 außer X0, XC1 und XM entsprechen, muss der Beton so lange nachbehandelt werden, bis die Festigkeit des oberflächennahen Betons 50% der charakteristischen Festigkeit des verwendeten Betons erreicht hat. Diese Anforderung ist in nachfolgender Tabelle in eine entsprechende Mindestdauer der Nachbehandlung umgesetzt. Ein genauer Nachweis ist möglich.
- Bei Umweltbedingungen, die den Expositionsklassen X0, XC1 nach DIN 1045-2:2001-07 entsprechen (z.B. Bauteile ohne Bewehrung, Innenbauteile), muss der Beton mindestens einen halben Tag nachbehandelt werden. Bei mehr als 5 Std. Verarbeitbarkeitszeit ist die Nachbehandlungsdauer angemessen zu verlängern. Bei Temperaturen der Betonoberfläche unter 5 °C ist die Nachbehandlungsdauer um die Zeit zu verlängern, während der die Temperatur unter 5 °C lag.
- Bei Betonoberflächen, die einem Verschleiß entsprechend den Expositionsklassen XM nach DIN 1045-2 ausgesetzt sind, muss der Beton so lange nachbehandelt werden, bis die Festigkeit des oberflächennahen Betons 70 % der charakteristischen Festigkeit des verwendeten Betons erreicht hat. Ohne genaueren Nachweis sind die Werte für die Mindestdauer der Nachbehandlung der folgenden Tabelle zu verdoppeln.

Minstdauer der Nachbehandlung von Beton bei den Expositionslassen nach DIN 1045-2 auer X0, XC1 und XM

Oberflchen- temperatur ϑ in °C ⁵⁾	Minstdauer der Nachbehandlung in Tagen ¹⁾			
	Festigkeitsentwicklung des Betons ³⁾			
	$r = f_{cm2}/f_{cm28}$ ⁴⁾			
	$\geq 0,50$	$r \geq 0,30$	$r \geq 0,15$	$r < 0,15$
$\vartheta \geq 25$	1	2	2	3
$25 > \vartheta \geq 15$	1	2	4	5
$15 > \vartheta \geq 10$	2	4	7	10
$10 > \vartheta \geq 5$ ²⁾	3	6	10	15

¹⁾ Bei mehr als 5 Std. Verarbeitbarkeitszeit ist die Nachbehandlungsdauer angemessen zu verlrgern.

²⁾ Bei Temperaturen unter 5 °C ist die Nachbehandlungsdauer um die Zeit zu verlrgern, whrend der die Temperatur unter 5 °C lag.

³⁾ Die Festigkeitsentwicklung des Betons wird durch das Verhltnis der Mittelwerte der Druckfestigkeiten nach 2 Tagen und nach 28 Tagen (ermittelt nach DIN EN 12390-3) beschrieben, das bei der Eignungsprfung oder auf der Grundlage eines bekannten Verhltnisses von Beton vergleichbarer Zusammensetzung (d.h. gleicher Zement, gleicher w/z-Wert) ermittelt wurde. Wird bei besonderen Anwendungen die Druckfestigkeit zu einem spteren Zeitpunkt als 28 Tage bestimmt, ist fr die Ermittlung der Nachbehandlungsdauer der Schtzwert des Festigkeitsverhltnisses entsprechend aus dem Verhltnis der mittleren Druckfestigkeit nach 2 Tagen ($f_{cm,2}$) zur mittleren Druckfestigkeit zum Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit zu ermitteln oder eine Festigkeitsentwicklungskurve bei 20 °C zwischen 2 Tagen und dem Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit anzugeben.

⁴⁾ Zwischenwerte drfen eingeschaltet werden.

⁵⁾ Anstelle der Oberflchentemperatur des Betons darf die Lufttemperatur angesetzt werden.

Vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung der Nachbehandlungsdauer

Für die Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1 können anstelle der Werte der obenstehenden Tabelle die erforderlichen Nachbehandlungsdauern nach folgender Tabelle festgelegt werden. Hierbei handelt es sich um ein vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung der Nachbehandlungsdauer. Eingangsparameter ist die Frischbetontemperatur zum Zeitpunkt des Betoneinbaus anstatt der Oberflächentemperatur des Betons bzw. Lufttemperatur. Zu beachten ist, dass bei Verwendung einer Stahlschalung oder bei Betonbauteilen mit ungeschalteten Oberflächen die Werte nur angewandt werden dürfen, wenn ein übermäßiges Auskühlen des Betons im Anfangsstadium durch entsprechende Maßnahmen verhindert wird.

Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton bei den Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1 nach DIN 1045-2 – Vereinfachtes Verfahren

Frischbeton- temperatur ϑ_{fb} zum Zeitpunkt des Betoneinbaus	Mindestdauer Nachbehandlung in Tagen ¹⁾		
	Festigkeitsentwicklung des Betons ²⁾ $r = f_{cm2}/f_{cm28}$ ³⁾		
	schnell $r \geq 0,50$	mittel $r \geq 0,30$	langsam $r \geq 0,15$
$\vartheta_{fb} \geq 15\text{ °C}$	1	2	4
$10\text{ °C} \leq \vartheta_{fb} < 15\text{ °C}$	2	4	7
$5\text{ °C} \leq \vartheta_{fb} < 10\text{ °C}$	4	8	14

¹⁾ Bei mehr als 5 Std. Verarbeitbarkeitszeit ist die Nachbehandlungsdauer angemessen zu verlängern.

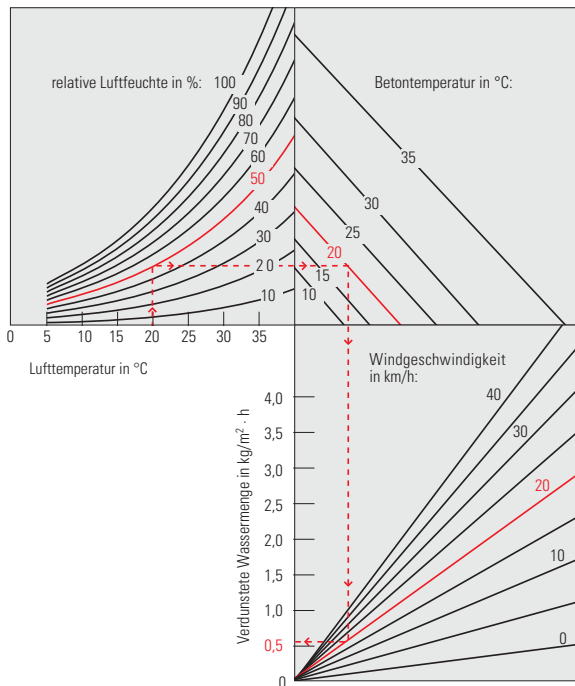
²⁾ Die Festigkeitsentwicklung des Betons wird durch das Verhältnis der Mittelwerte der Druckfestigkeiten nach 2 Tagen und nach 28 Tagen (ermittelt nach DIN EN 12390-3) beschrieben, das bei der Eignungsprüfung oder auf der Grundlage eines bekannten Verhältnisses von Beton vergleichbarer Zusammensetzung (d.h. gleicher Zement, gleicher w/z-Wert) ermittelt wurde. Wird bei besonderen Anwendungen die Druckfestigkeit zu einem späteren Zeitpunkt als 28 Tage bestimmt, ist für die Ermittlung der Nachbehandlungsdauer der Schätzwert des Festigkeitsverhältnisses entsprechend aus dem Verhältnis der mittleren Druckfestigkeit nach 2 Tagen ($f_{cm,2}$) zur mittleren Druckfestigkeit zum Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit zu ermitteln oder eine Festigkeitsentwicklungskurve bei 20 °C zwischen 2 Tagen und dem Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit anzugeben.

³⁾ Zwischenwerte dürfen eingeschaltet werden.

6.7.5 Nachbehandlungsmittel

Nachbehandlungsmittel sind in der Regel nicht zulässig in Arbeitsfugen und bei Oberflächen, die beschichtet werden sollen. In diesen Fällen ist entweder nachzuweisen, dass keine nachteilige Auswirkung auf die nachfolgenden Arbeiten besteht, oder die Nachbehandlungsmittel sind von der Betonoberfläche zu entfernen.

Das Austrocknungsverhalten von Beton in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und Temperatureinfluss:



311 28d 19.11	310 28d 19.11	308 28d 19.11	329 28d 25.11	330 28d 25.11
---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

315 28d 19.11	307 28d 15.11	306 28d 3.11	331 28d 26.11	332 28d 26.11
---------------------	---------------------	--------------------	---------------------	---------------------

316 28d 19.11	317 28d 19.11	318 28d 19.11	309 28d 18.11	313 28d 18.11	314 28d 18.11
---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Prüfen und Überwachen von Beton

7. Konformitätskontrolle und Konformitätskriterien

Die Konformitätskontrolle umfasst die Kombination von Handlungen und Entscheidungen, die entsprechend zuvor angenommener Regeln über die Konformität durchgeführt und getroffen werden müssen, um die Übereinstimmung des Betons mit der Festlegung nachzuprüfen. Die Konformitätskontrolle ist integraler Bestandteil der Produktionskontrolle (siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 9).

Der Probenahme- und Prüfplan und die Konformitätskriterien müssen den Verfahren nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 8.2 oder 8.3 entsprechen. Diese Regelungen gelten auch für Betonfertigteile, sofern in der entsprechenden Produktnorm keine anderen Regelungen angegeben sind. Falls der Verfasser der Festlegung größere Probenahmehäufigkeiten fordert, muss dies im Voraus vereinbart werden. Für Eigenschaften, die in diesen Abschnitten nicht behandelt werden, müssen der Probenahme- und Prüfplan und die Konformitätskriterien zwischen Hersteller und Verfasser der Festlegung vereinbart werden.

Der Ort der Probenahme für Konformitätsprüfungen muss so gewählt werden, dass sich die maßgebenden Betoneigenschaften und die Betonzusammensetzung zwischen dem Ort der Probenahme und dem Ort der Übergabe nicht wesentlich ändern. Für Leichtbeton mit nicht wassergesättigten Gesteinskörnungen sind die Proben am Ort der Übergabe zu entnehmen.

Sind Prüfungen der Produktionskontrolle dieselben wie die für die Konformitätskontrolle geforderten, dann dürfen sie für die Beurteilung der Konformität herangezogen werden. Der Hersteller darf für den Nachweis der Konformität auch andere am gelieferten Beton ermittelte Prüfdaten verwenden.

Die Konformität oder Nichtkonformität ist nach den Konformitätskriterien zu beurteilen. Nichtkonformität kann zu weiteren Maßnahmen am Ort der Herstellung und auf der Baustelle führen (siehe DIN EN 206-1/ DIN 1045-2, Kap. 8.4).

7.1 Konformitätskontrolle für Beton nach Eigenschaften

7.1.1 Konformitätskontrolle für die Druckfestigkeit

7.1.1.1 Allgemeines

Für Normalbeton und Schwerbeton der Festigkeitsklassen von C8/10 bis C55/67 oder Leichtbeton der Druckfestigkeitsklassen von LC8/9 bis LC55/60 müssen Probenahme und Prüfung entweder an einzelnen Betonzusammensetzungen oder an Betonfamilien mit festgestellter Eignung (siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 3.1.14), wie vom Hersteller bestimmt, durchgeführt werden, sofern nichts anderes vereinbart ist. Das Prinzip der Betonfamilien darf nicht auf Betone mit höheren Druckfestigkeitsklassen angewendet werden. Leichtbeton darf nicht in Betonfamilien einbezogen werden, die Normalbeton enthalten. Für Leichtbeton mit nachweisbar ähnlicher Gesteinskörnung darf eine eigene Betonfamilie gebildet werden.

7.1.1.2 Probenahme- und Prüfplan

Betonproben müssen zufällig ausgewählt und nach DIN EN 12350-1 entnommen werden. Die Probenahme muss für jede Betonfamilie (siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 3.1.14) durchgeführt werden, die unter als einheitlich geltenden Bedingungen hergestellt wurde. Die Mindesthäufigkeit der Probenahme und der Prüfung für die Ersterstellung und die stetige Herstellung von Beton müssen mit derjenigen Häufigkeit nach Kap. 7.1.1.3 (S. 302) übereinstimmen, die die größte Probenanzahl ergibt.

Unbeschadet der Anforderungen an die Probenahme nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2, 8.1 müssen die Proben nach der Zugabe von Wasser oder von Zusatzmitteln unter der Verantwortung des Herstellers entnommen werden; eine Probenahme vor der Zugabe von Betonverflüssiger oder Fließ-

mittel zum Angleichen der Konsistenz (siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 7.5) ist zulässig, wenn durch Erstprüfung nachgewiesen wurde, dass der Betonverflüssiger oder das Fließmittel in der verwendeten Menge keine negativen Auswirkungen auf die Festigkeit des Betons hat. Bei Leichtbeton muss die Probenahme am Ort der Verwendung erfolgen.

Das Prüfergebnis muss von einem einzelnen Probekörper genommen werden oder als Mittelwert der Ergebnisse, wenn zwei oder mehr aus einer Probe hergestellte Probekörper im selben Alter geprüft werden.

Wenn zwei oder mehr Probekörper aus einer Probe hergestellt werden und die Spannweite der Prüfwerte mehr als 15 % des Mittelwertes beträgt, müssen die Ergebnisse außer Betracht bleiben, falls nicht eine Untersuchung einen annehmbaren Grund für das Verwerfen eines einzelnen Prüfwertes ergibt.

7.1.1.3 Mindesthäufigkeit der Probenahme zur Beurteilung der Konformität

Herstellung	Mindesthäufigkeit der Probenahme	
	Erste 50 m ³ der Produktion	Nach den ersten 50 m ³ der Produktion ¹⁾
Erstherstellung (bis mindestens 35 Ergebnisse erhalten wurden)	3 Proben	1/200 m ³ oder 2/Produktionswoche
		Leichtbeton: 1/100 m ³ oder 1/Produktionstag
		hochfester Beton: 1/100 m ³ oder 1/Produktionstag
Stetige Herstellung ²⁾ (wenn mindestens 35 Ergebnisse verfügbar sind)	3 Proben	1/400 m ³ oder 1/Produktionswoche ³⁾
		Leichtbeton: 1/200 m ³ oder 1/Produktionstag
		hochfester Beton: 1/200 m ³ oder 1/Produktionstag

¹⁾ Die Probenahme muss über die Herstellung verteilt sein und für je 25 m³ sollte höchstens eine Probe genommen werden.

²⁾ Wenn die Standardabweichung der letzten 15 Prüfergebnisse $1,37 \sigma$ überschreitet, ist eine Probenahmehäufigkeit für die nächsten 35 Prüfergebnisse auf diejenige zu erhöhen, die für die Erstherstellung gefordert wird.

³⁾ Als „Produktionswoche“ gelten z.B. 6 Produktionstage eines Betons oder einer Betonfamilie, die innerhalb von 6 Monaten liegen (aus BÜV TB Grundsatzbeschluss).

7.1.1.4 Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit

Bei der Konformitätskontrolle kann nach drei Kriterien vorgegangen werden:

- Kriterium 1
Mittelwert f_{cm} in N/mm^2 von n Ergebnissen einer Betonsorte oder Betonfamilie
- Kriterium 2
Jedes einzelne Prüfergebnis f_{ci} in N/mm^2 einer Betonsorte oder Betonfamilie
- Kriterium 3
Mittelwert f_{cm} in N/mm^2 von n Ergebnissen für einen einzelnen Beton der Betonfamilie

Der Nachweis der Konformität muss auf Grundlage von Prüfergebnissen erfolgen, die während eines Nachweiszeitraums erhalten wurden, der die letzten zwölf Monate nicht überschreiten darf.

Die Konformität der Betondruckfestigkeit wird an Probekörpern nachgewiesen, geprüft nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 5.5.1.2 im Alter von 28 Tagen, für:

- Reihen von n nicht überlappenden, aufeinanderfolgenden Prüfergebnissen f_{cm} (Kriterium 1); bei Nachweis an überlappenden Prüfergebnissen ist dies vor Produktionsbeginn zu entscheiden und unter Angabe der Überlappungsintervalle der Überwachungsstelle mitzuteilen
- jedes einzelne Prüfergebnis f_{ci} (Kriterium 2)

ANMERKUNG: Die Konformitätskriterien wurden auf der Grundlage nicht überlappender Prüfergebnisse entwickelt. Die Anwendung der Kriterien auf überlappende Prüfergebnisse erhöht das Risiko der Zurückweisung.

Die Konformität ist nachgewiesen, wenn die beiden in nachfolgender Tabelle angegebenen Kriterien für die Erstherstellung oder die stetige Herstellung erfüllt sind.

Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit

Herstellung	Anzahl n der Ergebnisse in der Reihe	Kriterium 1	Kriterium 2
		Mittelwert von n Ergebnissen f_{cm} [N/mm ²]	Jedes einzelne Prüfergebnis f_{ci} [N/mm ²]
Erstherstellung	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
		hochfester Beton: $\geq f_{ck} + 5$	hochfester Beton: $\geq f_{ck} - 5$
Stetige Herstellung	15	$\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$, $\sigma \geq 3 \text{ N/mm}^2$	$\geq f_{ck} - 4$
		hochfester Beton: $\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$, $\sigma \geq 5 \text{ N/mm}^2$	hochfester Beton: $\geq 0,9 f_{ck}$

Wenn die Konformität auf der Grundlage einer Betonfamilie nachgewiesen wird, ist Kriterium 1 auf den Referenzbeton unter Berücksichtigung aller umgerechneten Prüfergebnisse der Familie anzuwenden; Kriterium 2 ist auf die ursprünglichen Prüfergebnisse anzuwenden.

Zum Nachweis, dass jeder einzelne Beton zur Familie gehört, ist der Mittelwert aller nicht umgerechneten Prüfergebnisse (f_{cm}) für einen einzelnen Beton gegenüber dem Kriterium 3 nach nachfolgender Tabelle nachzuweisen. Jeder Beton, der dieses Kriterium nicht erfüllt, ist aus der Betonfamilie zu entfernen, und seine Konformität ist gesondert nachzuweisen.

Bestätigungskriterium für einen Beton aus der Betonfamilie

Anzahl n der Prüfergebnisse für die Druckfestigkeit eines einzelnen Betons	Kriterium 3
	Mittelwert von n Ergebnissen (f_{cm}) für einen einzelnen Beton der Betonfamilie [N/mm ²]
2	$\geq f_{ck} - 1,0$
3	$\geq f_{ck} + 1,0$
4	$\geq f_{ck} + 2,0$
5	$\geq f_{ck} + 2,5$
6 bis 14	$\geq f_{ck} + 3,0$
≥ 15	$\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$

Zu Beginn ist die Standardabweichung aus mindestens 35 aufeinanderfolgenden Prüfergebnissen zu berechnen, die in einem Zeitraum entnommen sind, der länger als drei Monate ist und der unmittelbar vor dem Herstellungszeitraum liegt, innerhalb dessen die Konformität nachzuprüfen ist. Dieser Wert ist als der Schätzwert der Standardabweichung (σ) der Gesamtheit anzunehmen. Die Gültigkeit des übernommenen Wertes ist während der nachfolgenden Herstellung zu beurteilen. Zwei Verfahren zur Ermittlung des Schätzwertes für σ sind zulässig, wobei die Wahl des Verfahrens im Voraus zu treffen ist:

■ Verfahren 1

Der Anfangswert der Standardabweichung darf für den nachfolgenden Zeitraum angewandt werden innerhalb dessen die Konformität zu überprüfen ist, vorausgesetzt, dass die Standardabweichung der letzten 15 Ergebnisse (s_{15}) nicht signifikant von der angenommenen Standardabweichung abweicht. Dies wird unter folgender Voraussetzung als gültig angesehen:

$$0,63 \sigma \leq s_{15} \leq 1,37 \sigma$$

Falls der Wert von s_{15} außerhalb dieser Grenzen liegt, muss ein neuer Schätzwert σ aus den letzten 35 verfügbaren Prüfergebnissen ermittelt werden.

■ Verfahren 2

Der neue Wert für σ darf nach einem kontinuierlichen Verfahren geschätzt werden, und dieser Wert ist zu übernehmen. Die Empfindlichkeit des Verfahrens muss mindestens der des Verfahrens 1 entsprechen.

Der neue Schätzwert für σ ist für die nächste Nachweisperiode anzuwenden.

7.1.1.5 Betonfamilie

Eine Betonfamilie ist eine Gruppe von Betonzusammensetzungen, für die ein verlässlicher Zusammenhang zwischen maßgebenden Eigenschaften festgelegt und dokumentiert ist.

7.1.1.6 Wahl der Betonfamilie

Bei der Auswahl der Betonfamilie für die Produktions- und Konformitätskontrolle muss der Hersteller die Kontrolle aller Betone der Familie nach bestimmten Gesichtspunkten sicherstellen.

Unter folgenden Bedingungen dürfen Betone zu Betonfamilien zusammengefasst werden:

- Zement einer Art, Festigkeitsklasse und eines Ursprungs (Herstellwerkes)
- nachweisbar ähnliche Gesteinskörnung und Zusatzstoffe des Typs I
- Betone sowohl mit als auch ohne wasserreduzierende/verflüssigende Zusatzmittel
- gesamter Bereich der Konsistenzklassen
- Betone mit einem begrenzten Bereich von Festigkeitsklassen. Betone der Druckfestigkeitsklassen C8/10 bis C50/60 bzw. LC8/9 bis LC50/55 sind in mindestens zwei Betonfamilien einzuteilen.

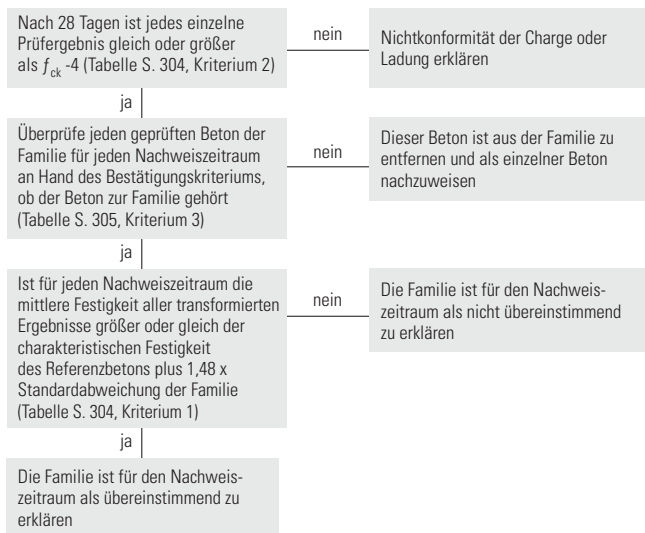
Betone mit einem Zusatzstoff des Typs II, d.h. puzzolanische oder latent hydraulische Zusatzstoffe, sind in getrennte Familien einzuordnen.

Betone mit Zusatzmitteln, die Auswirkungen auf die Druckfestigkeit haben, z.B. Beschleuniger, Verzögerer oder Luftporenbildner, werden als einzelne Betone behandelt oder in getrennte Familien eingeordnet.

Um nachweisbar als ähnlich zu gelten, sollten die Gesteinskörnungen die gleiche geologische Herkunft aufweisen, derselben Art sein, z.B. gebrochen, und sie sollten die gleiche Leistungseigenschaft im Beton aufweisen.

Vor der Anwendung des Familienkonzepts oder der Ausweitung der o.g. Familien sollten die Beziehungen an vorherigen Produktionsdaten überprüft werden, um zu beweisen, dass sie zu einer adäquaten und wirk-samen Produktions- und Konformitätskontrolle führen.

Flussdiagramm für den Nachweis der Zugehörigkeit zu und Konformität mit einer Betonfamilie



ANMERKUNG: Nähere Angaben bezüglich der Anwendung des Konzepts der Betonfamilien sind in einem CEN-Bericht angegeben (CR13901).

Bei der Anwendung von Betonfamilien muss der Hersteller die Kontrolle über alle Betone der Familie sicherstellen, und die Probenahme muss sich über den gesamten Bereich der Betonzusammensetzungen, die innerhalb dieser Familie hergestellt werden, erstrecken.

Wenn die Konformitätskontrolle auf eine Betonfamilie angewendet wird, ist als Referenzbeton entweder der am häufigsten hergestellte Beton oder ein Beton aus dem Mittelfeld der Betonfamilie auszuwählen. Um Ergebnisse aus Druckfestigkeitsprüfungen jeder einzelnen Betonprüfung auf den Referenzbeton übertragen zu können, werden Zusammenhänge zwischen jeder einzelnen Betonzusammensetzung einer Familie und dem Referenzbeton aufgestellt. Der Zusammenhang ist anhand von Originalwerten der Druckfestigkeitsprüfung bei jedem Nachweis und bei erheblichen Änderungen der Herstellbedingungen erneut zu überprüfen. Zusätzlich ist beim Nachweis der Konformität der Betonfamilie zu bestätigen, dass jeder einzelne Beton zur Betonfamilie gehört (siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 8.2.1.3).

Für den Probenahme- und Prüfplan und die Konformitätskriterien von einzelnen Betonzusammensetzungen oder Betonfamilien wird zwischen Erstherstellung und stetiger Herstellung unterschieden.

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

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

Wenn die Herstellung einer einzelnen Betonzusammensetzung oder einer Betonfamilie für mehr als 6 Monate unterbrochen wurde, muss der Her-

steller die Kriterien sowie den Probenahme- oder Prüfplan für die Erstherstellung übernehmen.

Während der fortlaufenden Produktion darf der Hersteller auch den Probenahme- und Prüfplan und die Kriterien für die Erstherstellung anwenden. Ist die Festigkeit für ein abweichendes Alter festgelegt, ist die Konformität an Probekörpern zu beurteilen, die im festgelegten Alter geprüft werden.

7.1.1.7 Konformitätskontrolle mit Betonfamilien

Die Umrechnung der Druckfestigkeiten in einer Betonfamilie erfolgt mittels festzulegenden Transformationsverfahren (siehe CEN-Bericht CR13901).

Diese sind:

- Quotientenverfahren
- Differenzverfahren
- Wasserzementwert-Verfahren

Um diese Verfahren durchführen zu können, muss ein Referenzbeton gewählt werden.

Gewählt wird entweder der am häufigsten hergestellte Beton oder ein Beton aus dem Mittelfeld der Betonfamilie.

Herstellungsvolumen im Nachweiszeitraum

Herstellungsvolumen (m³) und Anzahl der Proben						
Mischung Nr.	April m³ Proben		Mai m³ Proben		Juni m³ Proben	
101	180	1	260	1	300	1
102	270	1	300	1	200	1
103	920	2	1.300	2	1.360	2
104	60	0	70	1	90	1
105	190	1	300	1	360	1
106	120	0	165	1	160	1
107	400	1	600	1	650	2
Gesamt	2.140	6	2.995	8	3.120	9

Als Referenzbeton ausgewählt

Für die Transformation der Druckfestigkeiten sind von allen Betonen die Zielfestigkeiten festzulegen.

Die Zielfestigkeiten werden ermittelt als:

- Mittelwert von Prüfergebnissen einer Erstprüfung
- Mittelwert von Prüfergebnissen aus der unmittelbaren Vergangenheit

Mischung Nr.	101	102	103	104/105	106/107
Festigkeitsklasse	C12/15	C20/25	C20/25	C30/37	C20/25
Zielfestigkeit von Würfeln [N/mm ²]	24	31	32	44	38

7.1.1.8 Das Quotientenverfahren

Formel für das Quotientenverfahren

$$\text{Umrechnungsfaktor} = \frac{\text{Istfestigkeit des Betons}}{\text{Zielfestigkeit des Betons}}$$

Beispiel:

$$\begin{aligned} \text{Istfestigkeit des Betons} &= 21 \text{ N/mm}^2 = f_{ci} \\ \text{Zielfestigkeit des Betons} &= 24 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Zielfestigkeit des Referenzbetons} &= 32 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tabelle S. 304)} \end{aligned}$$

$$\text{Umrechnungsfaktor} = \frac{21}{24} = 0,88$$

$$\begin{aligned} \text{Transformierte Festigkeit} &= \text{Zielfestigkeit des Referenzbetons} \times \\ &\quad \text{Umrechnungsfaktor} \\ &= 32 \text{ N/mm}^2 \times 0,88 = 28 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

7.1.1.9 Das Differenzverfahren

Differenz = Istfestigkeit des Betons – Zielfestigkeit des Betons

Beispiel:

$$\begin{aligned}
 \text{Istfestigkeit des Betons} &= 21 \text{ N/mm}^2 &= f_{ci} \\
 \text{Zielfestigkeit des Betons} &= 24 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{Zielfestigkeit des Referenzbetons} &= 32 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{Differenz} &= \text{Istfestigkeit} - \text{Zielfestigkeit} \\
 &= 21 - 24 &= -3 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{transformierte Festigkeit} &= \text{Zielfestigkeit des Referenz-} \\
 &\quad \text{beton} + \text{Differenz} \\
 &= 32 + (-3) &= 29 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Beispiel:

Ermittlung der **Transformationsfaktoren** für das Quotienten- und Differenzverfahren (Beispiel für einen ausgewählten Beton)

Beton- sorte	Festigkeits- klasse	Ziel- festigkeit [N/mm ²]	Tatsächl. Festigkeit (Istwert) [N/mm ²]	Quotienten- verfahren	Differenz- verfahren
				Faktor	Differenz
101	C12/15	24 ¹⁾	21	0,88	- 3
102	C20/25	31 ¹⁾	28	0,90	- 3
103	C20/25	32 ²⁾	31	0,97	- 1
104	C30/37	44 ¹⁾	38	0,86	- 6
105	C30/37	44 ¹⁾	39	0,89	- 5
106	C20/25	38 ¹⁾	40	1,05	+ 2
107	C20/25	38 ¹⁾	43	1,13	+ 5

Als Referenzbeton ausgewählt

¹⁾ Zielfestigkeit des Betons

²⁾ Zielfestigkeit des Referenzbetons

Beispiel:

Transformation von Druckfestigkeiten mittels **Quotientenverfahren**

Nr.	Dat.	Beton- sorte	Festigkeits- klasse	Ziel- festigkeit d. Betons [N/mm ²]	Tatsächliche Festigkeit (Istwert) [N/mm ²]	Faktor	Transfor- mierte Festigkeit [N/mm ²]
1	11.05.	107	C20/25	38	43	1,13	36
2	17.05.	106	C20/25	38	40	1,05	34
3	20.05.	102	C20/25	31	28	0,90	29
4	24.05.	104	C30/37	44	38	0,86	28
5	26.05.	103	C20/25	32	31	0,97	31
6	31.05.	105	C30/37	44	39	0,89	28
7	04.06.	106	C20/25	38	36	0,95	30
8	06.06.	107	C20/25	38	35	0,92	29
9	12.06.	102	C20/25	31	33	1,06	34
10	13.06.	101	C12/15	24	21	0,88	28
11	15.06.	103	C20/25	32	34	1,06	34
12	19.06.	105	C30/37	44	42	0,95	31
13	23.06.	104	C30/37	44	45	1,02	33
14	28.06.	103	C20/25	32	30	0,94	30
15	29.06.	107	C20/25	38	41	1,08	34

Beispiel:

Transformation von Druckfestigkeiten mittels **Differenzverfahren**

Nr.	Dat.	Beton- sorte	Festigkeits- klasse	Ziel- festigkeit d. Betons [N/mm ²]	Tatsächliche Festigkeit (Istwert) [N/mm ²]	Diffe- renz	Transfor- mierte Festigkeit [N/mm ²]
1	11.05.	107	C20/25	38	43	+5	37
2	17.05.	106	C20/25	38	40	+2	34
3	20.05.	102	C20/25	31	28	-3	29
4	24.05.	104	C30/37	44	38	-6	26
5	26.05.	103	C20/25	32	31	-1	31
6	31.05.	105	C30/37	44	39	-5	27
7	04.06.	106	C20/25	38	36	-2	30
8	06.06.	107	C20/25	38	35	-3	29
9	12.06.	102	C20/25	31	33	+2	34
10	13.06.	101	C12/15	24	21	-3	29
11	15.06.	103	C20/25	32	34	+2	34
12	19.06.	105	C30/37	44	42	-2	30
13	23.06.	104	C30/37	44	45	+1	33
14	28.06.	103	C20/25	32	30	-2	30
15	29.06.	107	C20/25	38	41	+3	35

7.1.2 Konformitätskontrolle für die Spaltzugfestigkeit

(siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 8.2.2)

7.1.3 Konformitätskontrolle für andere Eigenschaften als die Festigkeit

(siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 8.2.3)

7.2 Konformitätskontrolle für Beton nach Zusammensetzung einschließlich Standardbeton

Für jede Charge eines vorgeschriebenen Betons muss die Konformität mit dem Zementgehalt, mit dem Nennwert des Größtkorns, mit der Kornverteilung oder mit der Sieblinie der Gesteinskörnung, falls zutreffend, sowie mit dem Wasserzementwert und mit dem Gehalt an Zusatzmitteln oder Zusatzstoffen, falls maßgebend, nachgewiesen werden. Der Gehalt an Zement, Gesteinskörnung (jede festgelegte Korngröße), Zusatzmittel und Zusatzstoff, wie in den Produktionsaufzeichnungen oder im Protokollausdruck an der Mischanlage ausgewiesen, muss innerhalb der in Tabelle S. 315 angegebenen Toleranzen liegen, und der Wasserzementwert darf den festgelegten Wert um nicht mehr als 0,02 überschreiten.

ANMERKUNG: Die Prüfung der Eigenschaften von Beton nach Zusammensetzung einschließlich Standardbeton ist in DIN 1045-3 geregelt.

Wenn die Konformität der Betonzusammensetzung durch Prüfung des Frischbetons nachgewiesen wird, müssen die Prüfverfahren und die Konformitätsgrenzen zwischen dem Verwender und dem Hersteller unter Berücksichtigung obiger Grenzen und der Genauigkeit der Prüfverfahren vorher vereinbart werden.

Für den Konformitätsnachweis der Konsistenz gelten die in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 einschlägigen Absätze von Kap. 8.2.3 und Tabelle 18.

Für die

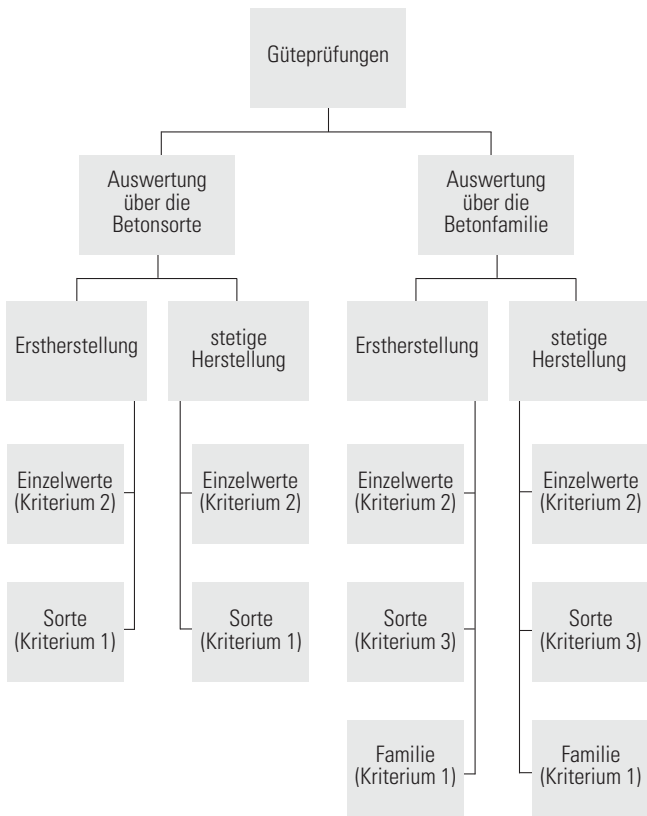
- Zementart und Festigkeitsklasse des Zements
 - Art der Gesteinskörnung
 - Art der Zusatzmittel und Zusatzstoffe, falls verwendet
 - Herkunft der Betonausgangsstoffe, falls festgelegt
- muss die Konformität durch Vergleich der Produktionsaufzeichnungen und der Lieferscheine für die Ausgangsstoffe mit den festgelegten Anforderungen nachgewiesen werden.

Toleranzen für das Dosieren von Ausgangsstoffen

Ausgangsstoff	Toleranz ¹⁾
Zement	± 3 % der erforderlichen Menge
Wasser	
Gesamte Gesteinskörnung	
Zusatzstoffe, Zusatzmittel	

¹⁾ Als Toleranz gilt die Differenz zwischen Zielwert und Messwert.

7.3 Durchführung der Konformitätskontrolle



■ Kriterium 2

Die Kontrolle nach Kriterium 2 ist bei jeder Erst- und stetiger Herstellung eines Betons oder einer Betonfamilie durchzuführen. Dabei muss jeder Einzelwert bei Beton bis C50/60 bzw. LC50/55 der folgenden Gleichung entsprechen.

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Beispiel:

Nachweis Kriterium 2 (Einzelwerte) bei einer Betonfamilie

Nr.	Dat.	Beton- sorte	Festigkeits- klasse	Tatsächliche Festigkeit f_{ci} [N/mm ²]	$f_{ck} - 4$ [N/mm ²]	erfüllt
1	11.05.	107	C20/25	43	21	ja
2	17.05.	106	C20/25	40	21	ja
3	20.05.	102	C20/25	28	21	ja
4	24.05.	104	C30/37	38	33	ja
5	26.05.	103	C20/25	31	21	ja
6	31.05.	105	C30/37	39	33	ja
7	04.06.	106	C20/25	36	21	ja
8	06.06.	107	C20/25	35	21	ja
9	12.06.	102	C20/25	33	21	ja
10	13.06.	101	C12/15	21	11	ja
11	15.06.	103	C20/25	34	21	ja
12	19.06.	105	C30/37	42	33	ja
13	23.06.	104	C30/37	45	33	ja
14	28.06.	103	C20/25	30	21	ja
15	29.06.	107	C20/25	41	21	ja

■ Kriterium 3

Für den Konformitätsnachweis bei einer Betonfamilie ist das Kriterium 3 notwendig. Es erfolgt für jede Betonsorte getrennt. Wird das Kriterium 3 nicht erfüllt, ist der Beton aus der Betonfamilie zu nehmen und die Konformitätskontrolle ohne diesen durchzuführen.

Die Kontrolle nach Kriterium 3 ist bei jeder Erst- und stetiger Herstellung gleich.

Beispiel:

Nachweis Kriterium 3 bei einer Betonfamilie

Nr.	Dat.	Beton- sorte	Festigkeits- klasse	Tatsächl. Festig- keit [N/mm ²]	Häufigkeit d. Beton- sorte	Mittelwert d. Beton- sorte [N/mm ²]	Kriterium 3 [N/mm ²]	er- füllt
1	11.05.	107	C20/25	43	1	—	21	ja
2	17.05.	106	C20/25	40	1	—	21	ja
3	20.05.	102	C20/25	28	1	—	21	ja
4	24.05.	104	C30/37	38	1	—	33	ja
5	26.05.	103	C20/25	31	1	—	21	ja
6	31.05.	105	C30/37	39	1	—	33	ja
7	04.06.	106	C20/25	36	2	38	24	ja
8	06.06.	107	C20/25	35	2	39	24	ja
9	12.06.	102	C20/25	33	2	30,5	24	ja
10	13.06.	101	C12/15	21	1	—	11	ja
11	15.06.	103	C20/25	34	2	32,5	24	ja
12	19.06.	105	C30/37	42	2	40,5	36	ja
13	23.06.	104	C30/37	45	2	41,5	36	ja
14	28.06.	103	C20/25	30	3	31,5	26	ja
15	29.06.	107	C20/25	41	3	39,5	26	ja

■ Kriterium 1

Mittelwert Beton oder Betonfamilie

Im Gegensatz zu Kriterium 2 und 3 wird beim Kriterium 1 zwischen der Erstherstellung und der stetigen Herstellung unterschieden. Erfolgt der Nachweis über Betonfamilien sind die Druckfestigkeiten zu transformieren.

■ Erstherstellung eines Betons oder einer Betonfamilie

Der Nachweis der Konformität erfolgt im Zeitraum der Erstherstellung an jeweils 3 aufeinander folgenden Prüfergebnissen, wobei der Mittelwert aus diesen um 4 N/mm^2 über dem charakteristischen Wert des Betons liegen muss.

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Beispiel:

Nachweis der Konformität an einer Betonfamilie (Erstherstellung)

3er Serien, Mittelwert

Nr.	Dat.	Beton- sorte	Festig- keits- klasse	Tatsäch- liche Festig- keit [N/mm ²]	Diffe- renz [N/mm ²]	Transform. Festig- keit ¹⁾ [N/mm ²]	Mittlere Festig- keit aus d. Serie f_{cm} [N/mm ²]	$f_{ck} + 4$	er- füllt
1	11.05.	107	C20/25	43	+5	37	33		ja
2	17.05.	106	C20/25	40	+2	34			
3	20.05.	102	C20/25	28	-3	29			
4	24.05.	104	C30/37	38	-6	26	28		nein
5	26.05.	103	C20/25	31	-1	31			
6	31.05.	105	C30/37	39	-5	27			
7	04.06.	106	C20/25	36	-2	30	31	29	ja
8	06.06.	107	C20/25	35	-3	29			
9	12.06.	102	C20/25	33	+2	34			
10	13.06.	101	C12/15	21	-3	29	31		ja
11	15.06.	103	C20/25	34	+2	34			
12	19.06.	105	C30/37	42	-2	30			
13	23.06.	104	C30/37	45	+1	33	33		ja
14	28.06.	103	C20/25	30	-2	30			
15	29.06.	107	C20/25	41	+3	35			

¹⁾ nach Differenzverfahren

■ Stetige Herstellung eines Betons oder einer Betonfamilie

Der Nachweis der Konformität bei Kriterium 1 erfolgt im Zeitraum der stetigen Herstellung an jeweils 15 aufeinanderfolgenden Prüfergebnissen. Der Mittelwert aus 15 Prüfergebnissen muss gleich oder größer sein als der charakteristische Wert der Betonsorte plus 1,48 mal Standardabweichung (σ) aus 35 aufeinander folgenden Prüfergebnissen, deren Herstellungszeitraum kleiner 12 Monate und größer 3 Monate ist. Die Werte müssen unmittelbar vor dem Herstellungszeitraum liegen, innerhalb dessen die Konformität nachzuprüfen ist.

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$$

Mindeststandardabweichung bei Normalbeton $\sigma \geq 3\text{N/mm}^2$

Beispiel:

Nachweis der Konformität an einer Betonfamilie mit 15er Serien
(stetige Herstellung, Kriterium 1)

Nr.	Dat.	Beton- sorte	Festig- keits klasse	Tatsäch- liche Festig- keit [N/mm ²]	Diffe- renz [N/mm ²]	Transform. Festig- keit ¹⁾ [N/mm ²]	Er- mittelte Rechen- werte	$f_{ck} + 4$ [N/mm ²]	er- füllt
1	11.05.	107	C20/25	43	+5	37	$f_{cm} =$ 31 N/mm ²	30	ja
2	17.05.	106	C20/25	40	+2	34			
3	20.05.	102	C20/25	28	-3	29			
4	24.05.	104	C30/37	38	-6	26			
5	26.05.	103	C20/25	31	-1	31			
6	31.05.	105	C30/37	39	-5	27			
7	04.06.	106	C20/25	36	-2	30	$s_{15} =$ 3,14		
8	06.06.	107	C20/25	35	-3	29	$\sigma^{1)} =$ 3,23		
9	12.06.	102	C20/25	33	+2	34			
10	13.06.	101	C12/15	21	-3	29			
11	15.06.	103	C20/25	34	+2	34			
12	19.06.	105	C30/37	42	-2	30			
13	23.06.	104	C30/37	45	+1	33			
14	28.06.	103	C20/25	30	-2	30			
15	29.06.	107	C20/25	41	+3	35			

¹⁾ Aus den letzten 35 Ergebnissen ermittelt

■ Prüfung der Standardabweichung

Beim Nachweis des Kriteriums 1 ist die Standardabweichung der 15 für den Nachweis der Konformität verwendeten Prüfergebnisse (S_{15}) zu ermitteln. Dieser Wert darf sich nicht signifikant von der Standardabweichung (σ) unterscheiden. Nach folgender Voraussetzung ist dies erfüllt:

$$0,63 \sigma < s_{15} < 1,37 \sigma$$

Beispiel:

(Werte aus Tabelle S. 322)

$$0,63 \cdot 3,23 < 3,14 < 1,37 \cdot 3,23$$

$$2,03 < 3,14 < 4,43$$

Somit sind die Bedingungen erfüllt.

7.4 Maßnahmen bei Nichtkonformität des Produktes

Die folgenden Maßnahmen muss der Hersteller im Fall der Nichtkonformität ergreifen:

- Nachprüfen der Prüfergebnisse; falls diese fehlerhaft sind, Berichtigen der Fehler
- falls sich die Nichtkonformität bestätigt, z.B. durch Wiederholungsprüfung, sind korrigierende Maßnahmen zu ergreifen, einschließlich einer Nachprüfung der maßgebenden Verfahren der Produktionskontrolle
- falls sich die Nichtkonformität mit der Festlegung bestätigt und diese bei Lieferung nicht offensichtlich war, sind der Verfasser der Festlegung und Verwender zu verständigen, um jeglichen Folgeschaden zu vermeiden
- Aufzeichnen der zuvor genannten Maßnahmen

Wenn die Nichtkonformität des Betons auf der Zugabe von Wasser oder Zusatzmitteln auf der Baustelle beruht (siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 7.5), muss der Hersteller nur Maßnahmen ergreifen, wenn er diese Zugabe veranlasst hat.

ANMERKUNG: Wenn der Hersteller die Nichtkonformität des Betons angezeigt hat oder wenn die Ergebnisse der Konformitätsprüfungen die Anforderungen nicht erfüllen, können zusätzliche Prüfungen nach DIN EN 12504-1 an Bohrkernen erforderlich werden, die dem Bauwerk oder den Bauteilen entnommen wurden, oder eine Kombination von Prüfungen an Bohrkernen sowie zerstörungsfreie Prüfungen am Bauwerk oder den Bauteilen, z.B. nach DIN EN 12504-2 oder DIN EN 13791. Bis zum Vorliegen von als Technische Baubestimmungen eingeführten Regeln kann die Beurteilung der Festigkeit am Bauwerk oder an Bauteilen nach DIN 1045-4 erfolgen. Mangels abweichender Vereinbarungen kann wie folgt verfahren werden:

- Prüfung mit dem Rückprallhammer am Bauwerk nach DIN EN 13791. Weist die Prüfung mit dem Rückprallhammer ausreichende Werte auf, kann der Beton einer Druckfestigkeitsklasse zugeordnet werden.
- Werden bei der Prüfung mit dem Rückprallhammer keine ausreichenden Werte ermittelt, wird eine, in Abhängigkeit von der Bauteilgröße, festzulegende Anzahl an Bohrkernen entnommen. Die Prüfung der Bohrkerne erfolgt nach den genannten Normen. Weisen die Bohrkerne ausreichende Druckfestigkeiten auf, kann der Beton einer Druckfestigkeitsklasse zugeordnet werden.

7.5 Produktionskontrolle

Die in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 enthaltenen Bestimmungen für die Produktionskontrolle gelten als Bestimmungen für die werkseigene Produktionskontrolle nach den Landesbauordnungen.

Allgemeines

Jeder Beton ist unter der Verantwortung des Herstellers einer Produktionskontrolle zu unterziehen.

Die Produktionskontrolle umfasst alle Maßnahmen, die für die Aufrechterhaltung der Konformität des Betons mit den festgelegten Anforderungen erforderlich sind. Sie beinhaltet:

- Baustoffauswahl
- Betonentwurf
- Betonherstellung
- Überwachung und 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 den in DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kapitel 8 angegebenen Bestimmungen

Anforderungen an andere Aspekte der Produktionskontrolle siehe DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 9. Diese Anforderungen müssen unter Berücksichtigung von Art und Umfang der Herstellung, der Tätigkeit, der jeweiligen Ausstattung, der Verfahren und Regeln am Ort der Herstellung und der Verwendung des Betons berücksichtigt werden. Zusätzliche Anforderungen können in Abhängigkeit von der besonderen Lage des Herstellungsortes und den festgelegten Anforderungen für bestimmte Bauwerke oder Bauteile notwendig sein.

ANMERKUNG: DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 9 berücksichtigt die Grundsätze der Norm DIN EN ISO 9001.

7.5.1 Betonzusammensetzung und Erstprüfung

Bei Verwendung einer neuen Betonzusammensetzung muss eine Erstprüfung durchgeführt werden, um einen Mischungsentwurf zu erhalten, der die festgelegten Eigenschaften oder die vorgesehene Leistung mit einem ausreichenden Vorhaltemaß erreicht. Das Vorhaltemaß sollte ungefähr das Doppelte der erwarteten Standardabweichung sein, d.h. mindestens ein Vorhaltemaß von $6 - 12 \text{ N/mm}^2$ in Abhängigkeit von der Herstelleneinrichtung, den Ausgangsstoffen und den verfügbaren Angaben über die Schwankungen. Falls für einen ähnlichen Beton oder eine ähnliche Betonfamilie Langzeiterfahrungen vorhanden sind, ist eine Erstprüfung nicht erforderlich. Der Betonentwurf und die Entwurfszusammenhänge müssen erneut nachgewiesen werden, wenn sich die Ausgangsstoffe wesentlich ändern. Bei Beton nach Zusammensetzung oder Standardbeton ist keine Erstprüfung durch den Hersteller notwendig.

Für folgende Betone ist eine Erstprüfung nicht erforderlich:

- Betone innerhalb der durch Erstprüfungen abgedeckten oberen und unteren Grenzwerte der Variationsbereiche der Betonzusammensetzung nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Tabelle F 5.
- Bei Beton ohne Zusatzmittel und Zusatzstoffe dürfen die Ergebnisse aus der Erstprüfung an Beton derselben Festigkeitsklasse mit Zementen geringerer Normfestigkeitsklasse auf Beton mit Zement höherer Normfestigkeitsklasse angerechnet werden, wenn die Eigenschaften der Ausgangsstoffe (z.B. Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung, Normdruckfestigkeit des Zementes) bekannt sind, und der Bereich üblicher Schwankungsbreiten nicht verlassen wird.
- Bei Beton mit Betonverflüssiger oder Fließmittel dürfen die Ergebnisse der Erstprüfung ohne Zusatzmittel angerechnet werden, falls mit dem gleichen Zusatzmittel bereits ein positives Ergebnis mit einem anderen Beton unter Verwendung desselben Zementes vorliegt und wenn die Eigenschaften der Ausgangsstoffe (z.B. Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung) bekannt sind und der Bereich üblicher Schwankungsbreiten nicht verlassen wird.

Für neue Betonzusammensetzungen, die durch Interpolation bekannter Betonzusammensetzungen oder Extrapolationen der Druckfestigkeit um nicht mehr als 5 N/mm^2 gewonnen werden, gelten die Anforderungen an die Erstprüfung als erfüllt.

Betonzusammensetzungen müssen unter Berücksichtigung der Änderung von Eigenschaften der Betonausgangsstoffe und der Ergebnisse der Bewertung der Übereinstimmung für die Betonzusammensetzungen regelmäßig erneut überprüft werden, um sicherzugehen, dass alle Betonentwürfe noch den geltenden Anforderungen entsprechen.

Für die Aussteuerung der Frisch- und Festbetoneigenschaften eines Betons dürfen folgende Variationen in der Betonzusammensetzung vorgehen werden:

Zement:	$\pm 15 \text{ kg/m}^3$
Zusatzstoff Flugasche:	$\pm 15 \text{ kg/m}^3$
Zusatzmittel:	zwischen 0 und Höchstdosierung nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, Kap. 5.2.6

Für hochfesten Beton dürfen nur die gleichen Ausgangsstoffe verwendet werden, mit denen die Erstprüfung durchgeführt wurde (Art, Hersteller, Ort der Gewinnung). Die zulässigen Toleranzbereiche der nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 Tabellen 22 und H.1 zu prüfenden Merkmale sind zwischen dem Lieferanten des Ausgangsstoffes, dem Betonhersteller und dem Verwender anhand der vom Lieferanten angegebenen und anhand der aus den Unterlagen der Produktionskontrolle des Lieferanten und des Herstellers ermittelten Schwankungsbreiten zu vereinbaren.

7.6 Konformitätskontrolle auf der Baustelle nach DIN 1045-3:2008-08

Die DIN 1045-3 ist das maßgebende Regelwerk für die Baustelle zur Bauausführung. Sie enthält Regelungen zur Ausführung von Betonbauwerken, die nach DIN 1045-1 entworfen und bemessen sind und für die Beton nach DIN EN 206-1, DIN 1045-2 und DIN 1045-4 verwendet wird.

Wichtiger Bestandteil für die „Überwachung von Beton auf Baustellen“ sind die Überwachungsklassen. Diese regeln, in Abhängigkeit der Festigkeit, Umweltbedingungen und besonderen Eigenschaften die unterschiedlichen Anforderungen an den Überwachungsumfang.

Die Überwachungsklassen unterscheiden sich durch Umfang und Häufigkeit der Prüfungen:

Überwachungsklasse 1: Eigenüberwachung durch das Bauunternehmen (Annahmeprüfung).

Überwachungsklasse 2 und 3: Eigen- und Fremdüberwachung. Die Eigenüberwachung ist durch eine ständige Betonprüfstelle des Bauunternehmens durchzuführen. Die Fremdüberwachung wird durch eine dafür anerkannte Überwachungsstelle durchgeführt.

7.6.1 Überwachungsklassen für Beton

Einteilung des Betons in Überwachungsklassen zur Überprüfung der maßgebenden Frisch- und Festbetoneigenschaften auf der Baustelle.

Gegenstand	Überwachungsklasse 1	
Druckfestigkeitsklasse für Normal- und Schwerbeton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2	$\leq C25/30$ ¹⁾	
Druckfestigkeitsklasse für Leichtbeton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 der Rohdichteklassen	nicht anwendbar	
- D1,0 bis D1,4		
- D1,6 bis D2,0	$\leq LC25/28$	
Expositionsklasse nach DIN 1045-2	X0, XC, XF1	
Besondere Betoneigenschaften		

¹⁾ Spannbeton der Festigkeitsklasse C25/30 ist stets in Überwachungsklasse 2 einzuordnen.

²⁾ Gilt nicht für übliche Industrieböden.

³⁾ Beton mit hohem Wassereindringwiderstand darf in die Überwachungsklasse 1 eingeordnet werden, wenn der Baukörper nur zeitweilig aufstauendem Sickerwasser ausgesetzt ist und wenn in der Projektbeschreibung nichts anderes festgelegt ist.

Überwachungsklasse 2 ⁴⁾	Überwachungsklasse 3 ⁴⁾
$\geq C30/37$ und $\leq C50/60$	$\geq C55/67$
$\leq LC25/28$	$\geq LC30/33$
$LC30/33$ und $LC35/38$	$\geq LC40/44$
XS, XD, XA, XM ²⁾ , XF2, XF3, XF4	—
<ul style="list-style-type: none"> - Beton für wasserundurchlässige Baukörper (z.B. weiße Wannen)³⁾ - Unterwasserbeton - Beton für hohe Gebrauchstemperaturen $T \leq 250^\circ\text{C}$ - Strahlenschutzbeton (außerhalb des Kernkraftwerkbaus) - Für besondere Anwendungsgebiete (z.B. Verzögerter Beton, Fließbeton, Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) sind die jeweiligen DAfStB-Richtlinien anzuwenden. 	

⁴⁾ 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.

7.6.2 Umfang und Häufigkeit der Prüfungen

Bei der Verwendung von Beton nach Eigenschaften sind die Prüfungen in Abhängigkeit der Überwachungsklasse nach folgender Tabelle durchzuführen:

Beton nach Eigenschaften: Umfang und Häufigkeit der Prüfungen der Frisch- und Festbetoneigenschaften

Gegenstand	Prüfverfahren	Anforderung	
Lieferschein	Augenscheinprüfung	Übereinstimmung mit der Festlegung	
Konsistenz	Augenscheinprüfung	normales Aussehen, wie festgelegt	
	DIN EN 12350-2, DIN EN 12350-3, DIN EN 12350-4, DIN EN 12350-5	wie festgelegt	
Frischbetonroh- dichte von Leicht-, Schwerbeton	DIN EN 12350-6	wie festgelegt	
Gleichmäßigkeit des Betons	Augenscheinprüfung	homogenes Erscheinungsbild	
	Vergleich von Eigen- schaften	Stichproben müssen die gleichen Eigenschaften aufweisen	
Druckfestigkeit	DIN EN 12390,1-4	wie festgelegt, mit den Annahmekriterien	
Luftgehalt von Luftporenbeton	DIN EN 12350-7 für Normal- und Schwer- beton sowie ASTM C 173 für Leicht- beton	wie festgelegt	

Häufigkeit für Überwachungsklasse		
1	2	3
jedes Lieferfahrzeug		
Stichprobe	jedes Lieferfahrzeug	
in Zweifelsfällen	<ul style="list-style-type: none">- beim ersten Einbringen jeder Betonzusammensetzung- bei der Herstellung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung- in Zweifelsfällen	
<ul style="list-style-type: none">- bei der Herstellung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung- in Zweifelsfällen		
Stichprobe	jedes Lieferfahrzeug	
in Zweifelsfällen		
in Zweifelsfällen	3 Proben je 300 m ³ oder je 3 Betoniertage	3 Proben je 50 m ³ oder je Betoniertag
nicht zutreffend	<ul style="list-style-type: none">- zu Beginn jedes Betonierabschnitts- in Zweifelsfällen	

7.6.3 Annahmekriterien für die Druckfestigkeitsprüfungen

Die Beurteilung der Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung erfolgt nach den Kriterien der Tabelle für jeden Einzelwert (Kriterium 2) und für den Mittelwert von nicht überlappenden Einzelwerten (Kriterium 1).

Anzahl „n“ der Einzelwerte	Kriterium 1		Kriterium 2	
	Beton der Über- wachungs- klassen 1 u. 2	Beton der Über- wachungs- klasse 3	Beton der Über- wachungs- klassen 1 u. 2	Beton der Über- wachungs- klasse 3
	Mittelwert von „n“ Einzelwerten f_{cm} N/mm ²		Jeder Einzelwert f_{ci} N/mm ²	
3 bis 4	$\geq f_{ck} + 1$		$\geq f_{ck} - 4$	$\geq 0,9 f_{ck}$
5 bis 6	$\geq f_{ck} + 2$		$\geq f_{ck} - 4$	$\geq 0,9 f_{ck}$
7 bis 34	$f_{cm} \geq f_{ck} + \left(1,65 - \frac{2,58}{\sqrt{n}}\right) \sigma$ $\sigma = 4$		$\geq f_{ck} - 4$	$\geq 0,9 f_{ck}$
≥ 35	$f_{cm} \geq f_{ck} + \left(1,65 - \frac{2,58}{\sqrt{n}}\right) \sigma$ $\sigma \geq 3$		$\geq f_{ck} - 4$	$\geq 0,9 f_{ck}$
		$\sigma \geq 5$		

f_{ck} die charakteristische Druckfestigkeit des verwendeten Betons

σ der Schätzwert der Standardabweichung der Grundgesamtheit

Der Nachweis gilt als erbracht, wenn Kriterium 1 (Mittelwert) und Kriterium 2 (Einzelwert) erfüllt werden.

Wird der Nachweis der Identität nicht erbracht, sind weitere Maßnahmen erforderlich, um die Standsicherheit, bzw. die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks sicherzustellen. Ob Nachprüfungen mit dem Rückprallhammer, die Entnahme von Bohrkernen oder ein erneuter statischer Nachweis auf Grundlage der verminderten Festigkeit möglich ist, muss im Einzelfall abgestimmt werden.



Betondeckung der Bewehrung

8. Betondeckung der Bewehrung

Die Bewehrungsstäbe eines Bauteils müssen

- zur sicheren Übertragung von Verbundkräften
- zum Schutz gegen Korrosion
- zum Schutz gegen Brandeinwirkung
(siehe DIN 4102-2 und DIN 4102-4)

eine Mindestbetondeckung c_{\min} aufweisen.

Die Mindestbetondeckung ist in Abhängigkeit der maßgebenden Expositionsklasse in nachfolgender Tabelle festgelegt. Für Bauteiloberflächen mit mehreren zutreffenden Umgebungsbedingungen ist die Expositionsklasse mit den höchsten Anforderungen maßgebend.

8.1 Mindestbetondeckung c_{\min} zum Schutz gegen Korrosion und Vorhaltemaß Δc in Abhängigkeit von der Expositions-klasse

Expositions- klasse	Mindestbetondeckung c_{\min} mm ^{1),2)}		Vorhalte- maß Δc mm	Nennmaß c_{nom} (Betonstahl) mm
	Betonstahl	Spannglieder im sofortigen Verbund und im nachträg- lichen Verbund ³⁾		
XC1	10	20	10	20
XC2	20	30	15	35
XC3	20	30		
XC4	25	35		40
XD1	40	50		55
XD2				
XD3 ⁴⁾				
XS1	40	50	55	
XS2				
XS3				

1) Die Werte dürfen für Bauteile, deren Betonfestigkeit um zwei Festigkeitsklassen höher liegt, als nach Tabelle 3 mindestens erforderlich ist, um 5 mm vermindert werden. Für Bauteile der Expositions-klasse XC1 ist diese Abminderung nicht zulässig.

2) Wird Ortbeton kraftschlüssig mit einem Fertigteil verbunden, dürfen die Werte an den der Fuge zugewandten Rändern auf 5 mm im Fertigteil und auf 10 mm im Ortbeton verringert werden. Die Bedingungen zur Sicherstellung des Verbundes müssen jedoch eingehalten werden, sofern die Bewehrung im Bauzustand ausgenutzt wird.

3) Die Mindestbetondeckung bezieht sich bei Spanngliedern im nachträglichen Verbund auf die Oberfläche des Hüllrohrs.

4) Im Einzelfall können besondere Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Bewehrung nötig sein.

8.2 Weitere ausgesuchte Anforderungen an die Betondeckung

8.2.1 Mindestbetondeckung c_{\min} zur Sicherung des Verbundes

$c_{\min} \geq$ Stabdurchmesser d_s der Betonstahlbewehrung oder der Vergleichsdurchmesser eines Stabbündels d_{sv}

$c_{\min} \geq 2,5 \cdot$ Nenndurchmesser d_p einer Litze oder
 $3,0 \cdot$ Nenndurchmesser eines gerippten Drahts im sofortigen Verbund

$c_{\min} \geq$ äußerer Hüllrohrdurchmesser eines Spanngliedes im nachträglichen Verbund.

8.2.2 Mindestbetondeckung c_{\min} bei Leichtbeton

Durchmesser Größtkorn der leichten Gesteinskörnung + 5 mm (ausgenommen Expositionsklasse XC1).

8.2.3 Mindestbetondeckung c_{\min} bei Verschleißbeanspruchung

Erhöhung der Betondeckungsmaße bei Expositionsklasse

XM1 + 5 mm

XM2 + 10 mm

XM3 + 15 mm

oder zusätzliche Anforderungen an die Gesteinskörnung nach DIN 1045-2 berücksichtigen.

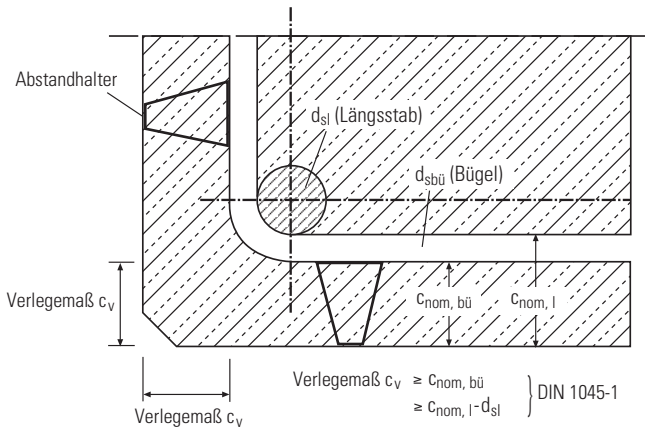
Die Werte des Vorhaltemaßes Δc dürfen um 5 mm abgemindert werden, wenn dies durch erhöhte und entsprechende Kontrollmaßnahmen gerechtfertigt werden kann.

8.2.4 Mindestbetondeckung c_{\min} beim Betonieren gegen unebene Flächen

Erhöhung um mindestens 20 mm oder um Differenzmaß der Unebenheit.

8.2.5 Verlegemaß c_v

Es ergibt sich aus der Bedingung, dass die Nennmaße c_{nom} für jedes einzelne Bewehrungselement eingehalten sind.





ZTV-ING

9. ZTV-ING

Seit 2012 gelten die neuen „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten“ kurz ZTV-ING des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW).

Dieses Regelwerk nimmt Bezug auf die DIN EN 206-1/ DIN 1045-2. Die ZTV-ING übernimmt zwar die grundlegenden Anforderungen der neuen Betonnormen, weicht aber in einzelnen Punkten ab. Dies betrifft z. B. die besonderen Anforderungen an die Verwendung der Ausgangsstoffe, die Zuordnung der Expositionsklassen sowie die Grenzwerte der Betonzusammensetzung. Nachfolgend sind wichtige betontechnologische Eckdaten der ZTV-ING dargestellt.

ANMERKUNG: ZTV-ING zum kostenlosen Download im Internet unter folgender Adresse erhältlich: **www.bast.de/Publikationen/Regelwerke** zum Download

9.1 Verwendung von Zementen und Zusatzstoffen

Bei der Ausführung von Bauwerken nach ZTV-ING gelten die folgenden, besonderen Anforderungen für die Verwendung von Zementen und Zusatzstoffen:

Zement, Zusatzstoff	Regelungen nach ZTV-ING
CEM II-M Portlandkompositzement	nur mit Zustimmung des Auftraggebers
CEM II-P Portlandpuzzolanzement	nur Trass nach DIN 51043 als Puzzolan
Flugaschezugabe	max. 60 M.-% v.Z.; max. anrechenbar 80 kg/m ³ für Tunnel- innenschalen bei XF2 ^{*)}
Hochofenzement CEM III/B und Flugasche	für Gründungsbauteile (wie z. B. Bohr- pfähle) erlaubt. Für weitere Anwendungen nur mit Zustimmung des Auftraggebers
Mikrosilica	nur als homogene Suspension, ausgenom- men Trockengemisch für Spritzbeton
Flugasche und Mikrosilica gleichzeitig (auch als Zement- bestandteil)	nur mit Zustimmung des Auftraggebers

^{*)} - Sättigungswert < 85 % (DAfStb-Heft 422)

SW: FA-Beton < Referenzbeton

- EP FA-Beton/Referenzbeton

- Vorlage der Prüfungen beim AG

9.2 Verwendung von Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620

Besondere Anforderungen nach ZTV-ING:

- Organische Verunreinigungen (nach DIN 4226-1 „alt“)
 - $Q_{0.05}$ für grobe Gesteinskörnung
 - $Q_{0.25}$ für feine Gesteinskörnungen (Sand)
- Kornformkennzahl mindestens Sl_{20}
- Kornzusammensetzung
 - nur enggestufte Gesteinskörnungen
 - Zugabe in zwei bzw. drei getrennten Korngruppen
- Thermische Eigenschaften
 - mind. Kategorie F2
 - bei XF2 + XF4 Masseverlust ≤ 8 M.-% (DIN EN 1367-1)
 - oder Betonversuch nach DIN V 18004 (Abwitterung ≤ 500 g/m²)

9.3 Verwendung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Besondere Anforderungen nach ZTV-ING:

- CDF-Test als mögliche „Kontrollprüfung“ für Expositionsklasse XF4
- Betontemperatur (abweichend von DIN 1045-3)
 - im Tunnelbau max. 25°C
- Feuchtigkeitsklasse WA nach Alkali-Richtlinie des DAfStb bei allen Bauwerken im Bereich von Bundesfernstraßen
- Es ist nur **ein** Betonzusatzmittel je Wirkungsgruppe zulässig
- Luftgehalt (ergänzend zu DIN 1045-2)
 - Anforderungen in Abhängigkeit von der Konsistenz (siehe folgende Seite)

Luftgehalt des Frischbetons

Größtkorn mm	Mittlerer Mindest-Luftgehalt ¹⁾ in Vol.-% für Beton der Konsistenz		
	C1 ohne FM oder BV	C2 bzw. F2 und F3 C1 mit FM oder BV ²⁾	≥ F4 ³⁾
8	5,5	6,5 ²⁾	6,5
16	4,5	5,5 ²⁾	5,5
32	4,0	5,0 ²⁾	5,0

¹⁾ Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 Vol.-% unterschreiten.

²⁾ Wenn bei der Eignungsprüfung nachgewiesen wird, dass die Grenzwerte für die Luftporenkennwerte (siehe Tabelle) 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 Merkblatt nachzuweisen.

Luftporenkennwerte

Art der Prüfung	Mikro-Luftporengehalt A_{300} Vol.-%	Abstandsfaktor L mm
Erstprüfung	≥ 1,8	≤ 0,20
Prüfungen am Bauwerk und Kontrollprüfungen	≥ 1,5	≤ 0,24



9.4 Zuordnung der Expositionsklassen

Die Zuordnung der Expositionsklassen nach ZTV-ING bei Frostangriff mit oder ohne Taumittel bzw. Bewehrungskorrosion, verursacht durch Chloride, unterscheidet sich von der Zuordnung nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Wichtige Unterschiede sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt:

Alle Bauteile	WA
Vorwiegend horizontale und direkt mit tausalzhaltigem Wasser oder Schnee beaufschlagte Betonfläche sowie Betonschutzwände	XF4, XD3
Lotrechte und nicht vorwiegend horizontale mit tausalzhaltigem Spritzwasser beaufschlagte Betonfläche mit Maßnahmen zur Ableitung des Spritzwassers	XF2, XD2
Ausschließlich mit Sprühnebel beaufschlagte Betonfläche	XF2, XD1
Trogsohlen (RStO), Tunnelsohlen als weiße Wanne und Gründungen	XD2
Trogsohlen (RStO), Tunnelsohlen mit außenliegender Folienabdichtung	XD1
Tunnelinnenschalen (geschlossene Bauweise), Tunnelwände und -decken (offene Bauweise) ohne Wasserdruck oder mit außenliegender Folienabdichtung	XF2, XD1
Tunnelwände (offene Bauweise), wasserundurchlässige Betonkonstruktion	XF2, XD2
Einfahrtbereiche von Tunneln	XF2, XD2

9.5 Grenzwerte der Betonzusammensetzung

In der nachfolgenden Tabelle sind für typische Bauteile nach ZTV-ING die Grenzwerte der Betonzusammensetzung aufgeführt. Abweichungen gegenüber DIN EN 206-1/DIN 1045-2 sind orange hinterlegt.

		XF2 ¹⁾⁸⁾	
Höchstzulässiger w/z-Wert		0,50	
Mindestdruckfestigkeitsklasse		C30/37	
Min. z (kg/m ³)	28 d	320	
	56 d ⁵⁾	300	
Min. z+FA (kg/m ³) ⁷⁾	28 d	270 + 50	
	56 d ⁵⁾	270+67,5 (20 %) ³⁾	
LP		—	
Andere Anforderungen		Gesteinskörnung NaCl-Verfahren ≤ 8 M.-%	
Zulässige Zemente bei Verwendung von Flugasche bei 28 d-Nachweis		CEM I oder CEM II/A	
Zulässige Zemente ohne Verwendung von Flugasche bei 56 d-Nachweis ⁵⁾		CEM III/A oder CEM III/B	
Zulässige Zemente bei Verwendung von Flugasche bei 56 d-Nachweis ⁵⁾		CEM I oder CEM II/A	
Bauteile			

Abweichung von DIN EN 206-1/DIN 1045-2

- 1) Bei Tunnelinnenschalenbeton erweiterte Erstprüfung bei Anrechnung von Flugasche notwendig, wenn andere Zemente als CEM I und CEM II/A verwendet werden.
- 2) gilt nur für Brückenkappen
- 3) Mindestflugaschegehalt 20 M.-% bezogen auf (z+f)
- 4) bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen Meerwasser)

	XD2; XA2	XF3	XF4 mit XD3⁶⁾
	0,50	0,50	0,50 ²⁾
	C30/37	C30/37	C25/30 ²⁾
	320	320	320
	300	300	56 d nicht zulässig
	270 + 50	270 + 50	Keine Anrechnung
	270+67,5 (20 %) ³⁾	270+67,5 (20 %) ³⁾	56 d nicht zulässig
	–	–	X
	Gesteinskörnung F2 bei XA2 ⁴⁾ HS-Zement	Gesteinskörnung F2	Gesteinskörnung NaCl-Verfahren ≤ 8 M.-%
	alle Zemente	alle Zemente	Keine Anrechnung
	CEM III/A, CEM III/B, CEM II/B-V	CEM III/A oder CEM III/B	56 d nicht zulässig
	alle Zemente	alle Zemente	56 d nicht zulässig
	Widerlager, Stützen, Pfeiler, Gründungen, Bohrpfähle, Tunnelsohlen, Tunnelwände, Tunnelinnenschalen, Trogsohlen, Trogwände, Überbauten		Kappen, Betonschutzwände

⁵⁾ nur für Betone mit langsamer oder sehr langsamer Festigkeitsentwicklung ($r < 0,30$) und Bauteilabmessung mindestens 0,60 m

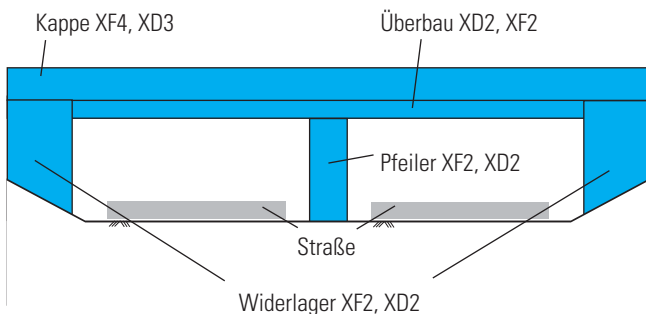
⁶⁾ Anrechnung der Flugasche in der Expositionsklasse XF4 nur mit Zustimmung des Auftragsgebers

⁷⁾ Flugaschegehalt ≤ 60 M.-% (bezogen auf den Zementgehalt), anrechenbare Flugaschemenge ≤ 80 kg/m³

⁸⁾ Anrechnung von Flugasche bei CEM I und CEM II/A, ansonsten Zustimmung des Auftragsgebers erforderlich

9.6 Beispiel Brücke

Beispielhafte Zuordnung von Bauteilen zu den Expositionsklassen. Sind weitere Belastungen vorhanden, zum Beispiel aus XA, so sind diese ebenfalls zu berücksichtigen.





Weitere Regelwerke für Betonanwendungen

10. Weitere Regelwerke für Betonanwendungen

10.1 Massige Bauteile aus Beton

10.1.1 DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ (2010-04)

Anwendungsbereich der Richtlinie:

Diese Richtlinie gilt für massige Bauteile aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton nach DIN 1045-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN EN 206-1, bei denen aufgrund großer Abmessungen eine erhöhte Bauteilerwärmung infolge Hydratation auftreten kann. Die Regelungen gelten für Bauteile, deren kleinste Bauteilabmessung mindestens 0,80 m beträgt und bei denen Zwang und Eigenspannungen in besonderer Weise zu berücksichtigen sind.

Änderungen und Ergänzungen zu DIN EN 206-1 und DIN 1045-2:

Für die Klassifizierung darf die charakteristische Festigkeit von Zylindern mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Länge ($f_{ck, cyl}$) bzw. die charakteristische Festigkeit von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge ($f_{ck, cube}$) nach 28 Tagen, nach 56 oder nach 91 Tagen verwendet werden.

Bei Bestimmung der Druckfestigkeitsklasse im Alter von 56 oder 91 Tagen ist für die Ermittlung der Nachbehandlungsdauer:

- der Schätzwert des Festigkeitsverhältnisses gemäß Tabelle 12, DIN EN 206-1/DIN 1045-2 aus dem Verhältnis der mittleren Druckfestigkeit nach 2 Tagen ($f_{cm,2}$) zur mittleren Druckfestigkeit nach 56 bzw. 91 Tagen zu ermitteln oder
- eine Festigkeitsentwicklungskurve bei 20 °C zwischen 2 Tagen und 56 bzw. 91 Tagen anzugeben.

Bei mehr als 5 h Verarbeitbarkeitszeit ist das Nachweisalter für die Druckfestigkeit im Alter von 2 Tagen ($f_{cm,2}$) um die Verzögerungszeit zu verlängern.

Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton – Teil 1

Expositionsklassen	kein Korrosions- oder Angriffs- risiko X0 ¹⁾	durch Karbonatisierung verursachte Korrosion		
		XC1	XC2	
Höchstzulässiger w/z	–	0,75		
Mindestdruckfestigkeitsklasse ²⁾	C8/10	C16/20		
Mindestzementgehalt ³⁾ in kg/m ³	–	240		
Mindestzementgehalt ³⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	–	240		
Mindest-Luftgehalt in %	–	–		
Andere Anforderungen	–			

¹⁾ Nur für Beton ohne Bewehrung oder eingeбетetes 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, z. B. aufgrund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger.

⁵⁾ Bei Verwendung von CEM II/B-V, CEM III/A oder CEM III/B oder Kombinationen von Zementen gemäß Tabellen F3.1 ohne oder mit Flugasche als Betonzusatzstoff oder bei anderen Zementen der Tabelle F3.1 oder F3.2 nach DIN 1045-2 in Kombination mit Flugasche als Betonzusatzstoff, wobei der Mindestflugaschegehalt 20 % (Massenanteil) von (z+f) betragen muss.

Bewehrungskorrosion

			durch Chloride verursachte Korrosion							
			Chloride außer aus Meerwasser				Chloride aus Meerwasser			
			XD1	XD2	XD3		XS1	XS2	XS3	
XC3	XC4	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,50 ⁵⁾	s. XD1	s. XD2	s. XD3
C20/25	C25/30	C30/37 ⁴⁾	C30/37 ⁴⁾	C35/45 ⁴⁾	C30/37 ^{4), 5)}					
260	280	300	300	300						
240	270	270	270	270						
—	—	—	—	—						
—										

Abweichung gegenüber DIN 1045-2/A1:2005-01

Grenzwerte für Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton – Teil 2

Expositionsklassen	Frostangriff					
	XF1	XF2		XF3		
Höchstzulässiger w/z	0,60	0,55 ⁷⁾	0,50 ⁷⁾	0,55	0,50	
Mindestdruckfestigkeitsklasse ²⁾	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C30/37	
Mindestzementgehalt ³⁾ in kg/m ³	280	300	300	300	300	
Mindestzementgehalt ³⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	270	7)	7)	270	270	
Mindest-Luftgehalt in %	—	6)	—	6)	—	
Andere Anforderungen	Gesteinskörnungen für die Expositionsklassen XF1 bis XF4 (siehe DIN V 20000-103 und DIN V 20000-104)					
	F4	MS ₂₅	F2	MS18		

2), 3), 4) und 5) siehe Fußnoten in Tabelle Seite 350/351.

6) 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.

7) Zusatzstoffe des Typs II dürfen zugesetzt, aber nicht auf den Zementgehalt oder den w/z angerechnet werden.

8) Es dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 unter Beachtung der Festlegung von DIN V 20000-103 verwendet werden.

9) Höchstzementgehalt 360 kg/m³, jedoch nicht bei hochfesten Betonen.

10) Erdfeuchter Beton mit w/z \leq 0,40 darf ohne Luftporen hergestellt werden.

11) z.B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons.

12) Schutzmaßnahmen für den Beton sind erforderlich.

Betonkorrosion								
		Aggressive chemische Umgebung			Verschleißbeanspruchung ⁸⁾			
	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2		XM3
	0,50 ⁷⁾	0,60	0,50	0,45	0,55	0,55	0,45	0,45
	C30/37	C25/30	C30/37 ⁴⁾	C35/45 ⁴⁾	C30/37 ⁴⁾	C30/37 ⁴⁾	C35/45 ⁴⁾	C35/45 ⁴⁾
	300	280	300	320	300 ⁹⁾	300 ⁹⁾	320 ⁹⁾	320 ⁹⁾
	7)	240	270	270	270	270	270	270
	6), 10)	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	12)	—	Oberflächenbehandlung des Betons ¹¹⁾	—	Hartstoffe nach DIN 1100

Abweichung gegenüber DIN 1045-2/A1:2005-01

Änderungen und Ergänzungen zu DIN 1045-3:

- Bei Anwendung der Richtlinie ist ein Qualitätssicherungsplan zu erstellen.
- Rechtzeitig vor dem Betoniertermin ist ein Betonierkonzept aufzustellen und mit allen Beteiligten abzustimmen. Dabei sind die Schnittstellen zwischen den Beteiligten, insbesondere dem Hersteller und dem Verwender des Betons, eindeutig zu regeln.

10.2 Selbstverdichtender Beton

10.2.1 DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie)“

Selbstverdichtender Beton (SVB):

Beton, der ohne Einwirkung zusätzlicher Verdichtungsenergie allein unter dem Einfluss der Schwerkraft fließt, entlüftet sowie die Bewehrungszwischenräume und die Schalung vollständig ausfüllt. Ein Restporenvolumen wie bei hinreichend verdichtetem Rüttelbeton ist auch bei Selbstverdichtendem Beton vorhanden.

Anwendungsbereich:

Die Richtlinie gilt für Selbstverdichtenden Beton, der – abgesehen von künstlich eingeführten Luftporen – keinen nennenswerten Anteil an eingeschlossener Luft aufweist. Die Richtlinie gilt für Selbstverdichtenden Normalbeton und für hochfesten Selbstverdichtenden Normalbeton bis zur Druckfestigkeitsklasse C70/85. Das Prinzip der Betonfamilie darf nicht angewendet werden.

Diese Richtlinie gilt nicht für:

- Leichtbeton;
- Standardbeton;
- Beton nach Zusammensetzung;
- Schwebeton;
- Beton in der Expositionsklasse XM3;
- hochfesten Beton der Druckfestigkeitsklassen ab C80/95.

Frischbeton:

Die Konsistenz von Selbstverdichtendem Beton wird mit Zielwerten und zulässigen Abweichungen des Setzfließmaßes (ohne Blockierring) oder der Trichterauslaufzeit angegeben, die nach Anhang M der Richtlinie bestimmt werden.

Grenzwerte für die Betonzusammensetzung:

Der Mehlkorngelalt für SVB beträgt $m \geq 450 \text{ kg/m}^3$ (entspricht etwa einem Leimvolumen von $V_{SR} \geq 160 \text{ l/m}^3$). Der höchstzulässige Mehlkorngelalt beträgt $m = 650 \text{ kg/m}^3$ (entspricht etwa einem Leimvolumen von 250 l/m^3).

Der Beton ist so zu entwerfen, dass Entmischen verhindert und Wasser-absondern des Frischbetons weitgehend ausgeschlossen werden.

Hochfester Beton:

Für Selbstverdichtenden Beton der Druckfestigkeitsklassen ab C80/95 ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

Größtkorn der Gesteinskörnung:

Das Größtkorn D der Gesteinskörnung beträgt in der Regel $8 \text{ mm} \leq D \leq 16 \text{ mm}$ und muss der Bedingung $D \leq d_a$ mit d_a : Abstand der Bewehrungsstäbe (mind. 20 mm) genügen.

Erstprüfung:

Bei Verwendung einer neuen Betonzusammensetzung muss eine Erstprüfung durchgeführt werden, um einen Mischungsentwurf zu erhalten, der die festgelegten Eigenschaften oder die vorgesehene Leistung mit einem ausreichenden Vorhaltemaß erreicht.

Überwachung des Betonierens:

Selbstverdichtender Beton ist mindestens in der Überwachungsklasse 2 mit erweiterten Frischbetonprüfungen nach Anhang A der Richtlinie einzuordnen.

ANMERKUNG: Selbstverdichtender Beton in DIN EN 206-9:2010 enthalten.

10.3 Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton

10.3.1 DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“

Anwendungsbereich:

Diese Richtlinie gilt für teilweise oder vollständig ins Erdreich eingebettete Betonbauwerke und -bauteile des allgemeinen Hoch- und Wirtschaftsbaus, die nach DIN 1045, Teile 1 bis 4 in Verbindung mit DIN EN 206-1 bemessen, hergestellt und ausgeführt werden und bei denen der Beton die lastabtragende Funktion und die Funktion der Wasserundurchlässigkeit grundsätzlich auch ohne zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen übernimmt („Weiße Wanne“). Im März 2006 wurde die Richtlinie berichtigt und im Heft 555 des DAfStb erläutert. Diese Richtlinie gilt nicht für Konstruktionen im Bereich des Brücken- und Tunnelbaus. Bei anstehendem Wasser ist stets eine ÜK (Überwachungsklasse) 2 sicherzustellen.

Die Richtlinie unterscheidet die Anforderungen nach Beanspruchungsklassen.

Die Beanspruchungsklasse – die Art der Beaufschlagung des Bauwerks oder Bauteils mit Feuchte oder Wasser – ist unter Berücksichtigung der Baugrundeigenschaften und des Bemessungswasserstandes festzulegen.

- Die Beanspruchungsklasse 1 gilt für drückendes und nichtdrückendes Wasser und zeitweise aufstauendes Sickerwasser.
- Die Beanspruchungsklasse 2 gilt für Bodenfeuchte und nichtstauendes Sickerwasser.

Außerdem werden die Bauteile in Abhängigkeit der Nutzungsanforderungen in Nutzungsklassen eingeteilt.

- Für Bauwerke oder Bauteile der Nutzungsklasse A ist ein Feuchte-transport in flüssiger Form (Wasserdurchtritt durch den Beton, durch Fugen, Arbeitsfugen und Sollrissquerschnitte, durch Einbauteile und Risse) nicht zulässig, d. h. Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche als Folge von Wasserdurchtritt sind durch in der Planung vorgesehene Maßnahmen auszuschließen.

- Für Bauwerke oder Bauteile der Nutzungsklasse B sind Feuchtstellen auf der Bauteiloberfläche (Bauteilbeton) zulässig, d. h. es wird im Gegensatz zur Nutzungsklasse A nur eine begrenzte Wasserundurchlässigkeit gefordert. Feuchtstellen dürfen in Bereichen von Trennrissen, Sollrissquerschnitten, Fugen und Arbeitsfugen vorhanden sein. „Feuchtstellen“ sind im Sinne dieser Definition feuchtebedingte Dunkelfärbungen, gegebenenfalls auch die Bildung von Wasserperlen an diesen Stellen, nicht jedoch solche Wasserdurchtritte, die mit auf der Bauteiloberfläche angesammelten Wassermengen verbunden sind.

Anforderungen an den Beton:

Neben den Anforderungen, die sich aus den für das Bauteil zutreffenden Expositionsklassen nach DIN 1045 ergeben, sind die Anforderungen an den Beton mit hohem Wassereindringwiderstand (wasserundurchlässiger Beton) nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (5.5.3) einzuhalten. Für den Anwendungsbereich der Richtlinie gilt jedoch $(w/z)_{eq} \leq 0,60$.

Für eine ausreichende Verarbeitbarkeit ist in der Regel Konsistenzklasse F3 oder eine weichere Konsistenz zu verwenden. Bei der Wahl der Konsistenzklasse und gegebenenfalls weiterer Betoneigenschaften (z.B. Pumpbarkeit, Verdichtbarkeit) sollten auch Einbaugerät und Einbaugeschwindigkeit berücksichtigt werden.

Bei der Festlegung des Betons sind unter Berücksichtigung der Randbedingungen (Witterung, Bauteildicke) und geplanten betontechnischen und ausführungstechnischen Erfordernisse die folgenden Parameter zu beachten, welche die Entstehung von Zwang beeinflussen:

- Frischbetontemperatur,
- Hydratationswärmeentwicklung des Betons,
- Nachbehandlung ist zwingend vorzusehen (gegebenenfalls kombiniert mit Maßnahmen zur Regelung des Wärmeabflusses über die Schalung und die freie Oberfläche, s. auch DIN 1045-3).

Bei der Anwendung von Vorspannung muss die Festigkeitsentwicklung des Betons beachtet werden (s. Abschnitt 8.4, Absatz 3, „WU-Richtlinie“). Ein Nachweis der Wassereindringtiefe durch Prüfung an Platten ist nicht erforderlich.

Bei Ausnutzung der Minstdicken nach Tabelle 1 in Abschnitt 6.2 der Richtlinie ist bei Beanspruchungsklasse 1 ein Beton mit einem $(w/z)_{eq} \leq 0,55$ und bei Wänden ein Größtkorn ≤ 16 mm zu verwenden. Ab Minstdicke + 15 % (30-35 mm) reicht $(w/z)_{eq} \leq 0,60$.

Empfohlene Minstdicken von Bauteilen (Angaben in mm)

Bauteile	Beanspruchungs- klasse	Ausführungsart		
		Ortbeton	Elementwände	Fertigteile
Wände	1 ¹⁾	240	240	200
	2 ²⁾	200	240 ³⁾	100
Bodenplatte	1 ¹⁾	250	—	200
	2 ²⁾	150	—	100

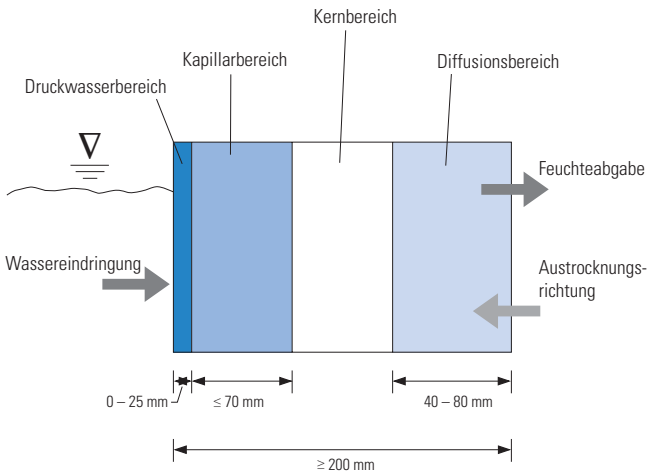
1) Beanspruchungsklasse 1 – Drückendes und nichtdrückendes Wasser sowie zeitweise aufstauendes Sickerwasser.

2) Beanspruchungsklasse 2 – Bodenfeuchte und nichtstauendes Sickerwasser.

3) Unter Beachtung besonderer betontechnischer und ausführungstechnischer Maßnahmen ist eine Abminderung auf 200 mm möglich (z.B. Konsistenz F6 oder SVB).

Bei freien Fallhöhen von mehr als 1 m ist stets eine Anschlussmischung zu verwenden, um einen fehlerstellenfreien Betoneinbau am Fußpunkt von Wänden sicherzustellen. Für Elementwände mit Mindestwanddicken nach Tabelle der Richtlinie sollte stets eine Anschlussmischung verwendet werden. Die Anschlussmischung ist auf einer Höhe der einfachen Wanddicke, mindestens jedoch mit einer Höhe von 300 mm, vorzusehen. Die Elementwände sind vorzunässen und mit einem Abstand zur Fundamentplatte von mind. 30 mm zu montieren.

Arbeitsmodell zum Feuchtetransport



Wasser	Beton	Luft
--------	-------	------

Quelle: Beddoe/Springenschmid/Schießl/Rucker

10.4 Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Die Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ (März 2011) vom DAfStb regelt die Anforderungen an Betonbauten beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach § 62 WHG des Wasserhaushaltsgesetz.

Im Sinne dieser Richtlinie sollen Konstruktionen so ausgeführt werden, dass ein Durchdringen von wassergefährdenden Stoffen für eine festgelegte Zeit, im Regelfall 72 h, verhindert wird.

Die Richtlinie enthält Angaben zur Bemessung, Konstruktion und Ausführung, einschließlich Instandsetzung und Ertüchtigung für Betonbauten und besteht aus 3 Teilen:

- Teil 1: Grundlagen, Bemessung und Konstruktionen unbeschichteter Betonbauten.
- Teil 2: Baustoffe und Einwirken von wassergefährdenden Stoffen
- Teil 3: Instandsetzung

Betonbauten nach dieser Richtlinie sind immer zu bemessen. Für die Rissbreitenbeschränkung ist im Regelfall $w_k = 0,2$ mm zugrunde zu legen.

Gemäß Richtlinie wird unterschieden in FD-Beton (flüssigkeitsdichter Beton) und FDE-Beton (flüssigkeitsdichter Beton nach Eindringprüfung).

10.4.1 Anforderungen an den Beton

Im Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen werden überwiegend FD-Betone eingesetzt, da hier keine aufwendige Eindringprüfung durchgeführt werden muss.

Für FD-Beton gelten grundsätzlich folgende, über DIN EN 206-1/DIN 1045-2 hinausgehende Anforderungen nach Teil 2 der Richtlinie:

- Wasserzementwert $w/z \leq 0,50$
- Zemente z.B. CEM I, CEM II-S, CEM II/A-LL, CEM II/A-D, CEM II/A-P, CEM II-V, CEM II-T, CEM III/A, CEM III/B, sowie CEM II/M in den Kombinationen (A/S-LL, A/V-LL, B/S-D, usw.)
- SCHWENK Zemente CEM II/B-M 32,5 + 42,5 R-AZ dürfen laut allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung verwendet werden
- Zementleimgehalt $< 290 \text{ l/m}^3$, auf den w/z -Wert angerechnete Zusatzstoffmenge zählt mit zum Leimvolumen
- Gesteinskörnung Größtkorn 16 – 32 mm, Sieblinie A/B
- Flugasche und Silicastaub darf eingesetzt und angerechnet werden
- LP-Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 darf eingesetzt werden
- Restwasser darf gemäß DIN EN 1008 verwendet werden
- Normalerweise Konsistenz F3, weichere Konsistenz ist möglich, wenn Entmischen verhindert wird
- Kein Bluten des Betons

Bei Betonen, die nicht die vor genannten Anforderungen erfüllen, wird FDE-Beton eingesetzt. Hierbei ist eine Eindringprüfung mit den Referenzstoffen n-Hexan und Di-Chlormethan durchzuführen. Die Eindringtiefe des FDE-Betons darf den Wert des FD-Betons nicht übersteigen.

Der Umfang der Überwachung des Betons auf der Baustelle richtet sich nach den Vorgaben der DIN 1045-3. Die Bauausführung hat durch einen Fachbetrieb zu erfolgen.

10.5 Bohrfahlbeton

Beton für Bohrfähle ist in DIN EN 1536 (2010-12) „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bohrfähle“ in Verbindung mit der DIN SPEC 18140.

Die Anforderungen an die Ausgangsstoffe und die Betonzusammensetzung ist wie folgt festgelegt:

10.5.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Zulässige Zemente:

- CEM I
- CEM II/A-S, B-S, A-D, A-V, B-V, A-P, B-P, A-T, B-T, A-LL sowie A-M (S-V) und B-M (S-V)
- SCHWENK Zemente CEM II/B-M 32,5 + 42,5 R-AZ dürfen laut allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung verwendet werden
- CEM III A, B, C

Andere Zementarten können eingesetzt werden, wenn sie in der Leistungsbeschreibung verlangt werden und sich für die betreffenden Verhältnisse bewährt haben.

Gesteinskörnung:

- DIN EN 12620 mit Regelanforderungen nach DIN V 20000-103 und je nach Anforderung Zusatzeigenschaften nach DIN 1045-2
- Bei Unterwasserbeton: vorzugsweise Rundkorn

Zusatzstoffe und Zusatzmittel:

- Anforderungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 müssen erfüllt werden
- Anrechnung von Flugasche mit $k_f = 0,7$ nach DIN EN 450 (Ausnahme: CEM II/A-D, B-V, B-P und CEM III/C)
- Betonverflüssiger, Fließmittel, Verzögerer und Luftporenbildner dürfen eingesetzt werden

10.5.2 Anforderungen an Betonzusammensetzung

Beton für Bohrpfähle muss so zusammengesetzt sein, dass er sich nicht entmischt und eine gute Fließfähigkeit aufweist. Folgende Konsistenzen (Ausbreitmaße) sollten eingehalten werden:

- 470-530 mm Betonieren im Trockenem
- 530-590 mm Pumpbeton oder mit Kontraktorrohren eingebrachter Unterwasserbeton
- 570-630 mm im Kontraktorverfahren unter Stützflüssigkeit eingebrachter Beton

Der w/z-Wert ist nach DIN EN 1536 auf max. 0,6 und DIN SPEC 18140 (mit Flugasche) auf max. 0,7 beschränkt. Sind zusätzliche Anforderungen aus den Expositionsklassen zu berücksichtigen, kann der Wert auch kleiner sein. Fließfähiger Beton der Konsistenzklassen $\geq S_4$, V_4 und $\geq F_4$ darf abweichend von DIN 1045-2 ohne Fließmittel hergestellt werden.

Aus DIN EN 1536 und DIN SPEC 18140 ergeben sich folgende Anforderungen an die Betonzusammensetzung:

Tabelle: Grenzwerte der Betonzusammensetzung
DIN EN 1536 in Verbindung mit DIN SPEC 18140

Einbringen	Mind. Zement- gehalt kg/m ³	Größtkorn mm	Mind. Zement- gehalt bei Anrechnung von FA kg/m ³	Summe Z + F kg/m ³
im Trockenem	≥ 325	16	≥ 300	≥ 400
		32	≥ 270	≥ 350
unter Wasser	≥ 375	16	≥ 300	≥ 400
		32	≥ 270	≥ 350

10.5.3 Erstprüfung und Überwachung von Bohrpfahlbeton

Der Umfang der Erstprüfung richtet sich nach den Vorgaben der DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

Bei den Überwachungsmaßnahmen auf der Baustelle ist über DIN 1045-3 hinausgehend auch eine Probenahme auf der Baustelle für die Überwachungskategorie 1 vorgeschrieben (mindestens 3 Proben für höchstens 300 m³ oder 3 Betoniertage). Umfang und Häufigkeit richten sich ansonsten nach DIN 1045-3.

10.6 Sichtbeton

10.6.1 DBV-Merkblatt Sichtbeton (August 2004)

Sichtbeton:

Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen – kurz Ansichtsflächen – werden allgemein als Sichtbeton bezeichnet.

Sichtbetonklassen:

- SB 1 (geringe Anforderungen)
- SB 2 (normale Anforderungen)
- SB 3 (hohe Anforderungen)
- SB 4 (besonders hohe Anforderungen)

Kosten:

- niedrig
- mittel
- hoch
- sehr hoch

ANMERKUNG: Eine schalungs- und betontechnische Betreuung durch Sonderfachleute wird ab Sichtbetonklasse SB 3 bei Planung, Ausschreibung und Ausführung empfohlen.

Den jeweiligen Sichtbetonklassen werden unterschiedliche Anforderungen für folgende Einzelkriterien zugeordnet:

- Textur (T1 – T3)
- Porigkeit (P1 – P4)
- Farbtongleichmäßigkeit (FT1 – FT3)
- Ebenheit (E1 – E3)
- Arbeits- und Schalhautfugen (AF1 – AF4)
- Schalhaut (SHK1 – SHK3)

Erprobungsflächen:

Die Herstellung einer Erprobungsfläche wird ab Sichtbetonklassen SB 2 empfohlen.

Beton:

Der Beton muss so zusammengesetzt sein, dass die Konsistenz und das Größtkorn dem Einbauverfahren und der Bauteilgeometrie angepasst sind, er sich beim Einbau und Verdichten nicht entmischt und kein Wasser absondert. Er muss in gleichbleibender Zusammensetzung und Konsistenz angeliefert und verarbeitet werden. In der Praxis haben sich folgende Maßnahmen bewährt:

- Einsatz von „robusten“ Betonsorten, die bei geringfügigen Schwankungen in den Ausgangsstoffen und in der Homogenität keine wesentlichen Änderungen im Aussehen der Oberfläche hervorrufen.
- Einsatz von Betonen mit ausreichendem Mehlkorngesamtgehalt, um Sedimentationsneigung und Wasserabsonderung möglichst gering zu halten.
- Einsatz von Betonen, die einen ausreichend hohen Mörtel- und Leimgehalt aufweisen.
- einen Wasserzementwert von $w/z = 0,55$ möglichst nicht zu überschreiten. Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass Schwankungen des Wasserzementwertes von $\Delta w/z = \pm 0,02$ bereits zu deutlich erkennbaren Abweichungen im Farbton führen können.
- kein Einsatz von Restwasser und Restbeton.
- in Einzelfällen Einsatz einer Anschlussmischung mit verringertem Größtkorn. Hierbei können geringe Farbtönschwankungen auftreten.
- Wahl einer Einbaukonsistenz am Übergang vom plastischen zum weichen Konsistenzbereich (Ausbreitmaßklasse F2/F3). In Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung, der Einbauart und den Bauteilabmessungen kann unter Umständen auch eine

weichere Konsistenz erforderlich bzw. von Vorteil sein.
Die Abweichung vom vereinbarten Ausbreitmaß a sollte bei der Übergabe nicht größer als $\Delta a = \pm 20 \text{ mm}$ sein.

- im Hinblick auf die Farbtongleichmäßigkeit Verzicht auf die in DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 zulässige Variation der Betonzusammensetzung.

Zusätzlich zu den geforderten Erstprüfungen sind für SB 4, gegebenenfalls für SB 3, weitere Prüfungen notwendig, z.B. zur Beurteilung des Wasserabsonderns und der Sedimentation. Ein Wechsel der Ausgangsstoffe bzw. der Zusammensetzung des Betons wirkt sich ebenfalls auf die Ansichtsflächen aus. Für die Anlieferung des Betons sollten Transportbetonwerke mit kurzen Anfahrtswegen zur Baustelle bevorzugt werden.

Mit dem Betonhersteller sind folgende Abstimmungen erforderlich:

- Lieferabstände der einzelnen Mischfahrzeuge in Abhängigkeit von der Baustellenzufahrtsmöglichkeit, der Förderart und den Bauteilabmessungen.
- auch bei Mischern mit sehr guter Mischwirkung sollte die Mischdauer je Charge 60 Sekunden nicht unterschreiten.
- Bestellung und Anlieferung des Frischbetons nach Zielwert der Konsistenz. Bei Einhaltung einer maximalen Schwankung des Ausbreitmaßes a von $\Delta a = \pm 20 \text{ mm}$ durch Kontrolle im Werk und auf der Baustelle (bei SB 4 jeweils jedes Fahrzeug).
- Vorgehen bei Ausfall des Lieferwerks (Ersatzlieferwerk etc.).

Bauausführung:

Die nachstehenden Hinweise zur Bauausführung sind zu beachten.

- Die Zeitspanne zwischen Aufstellen der Schalung und dem Betoneinbau sollte möglichst kurz gehalten werden.
- Bei hohen Bauteilen ist die freie Fallhöhe des Frischbetons

durch geeignete Maßnahmen auf maximal 1,0 m zu begrenzen (siehe DBV-Merkblatt „Betonierbarkeit von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton“).

- Der Beton ist zügig in gleich hohen Schüttilagen einzubauen und zu verdichten (empfohlene Schüttilagenhöhe 0,50 m).
- Vermeidung der Verschmutzung der Ansichtsflächen durch auslaufenden Zementleim oder -mörtel („Betonnasen“) bei nachfolgenden Betoniervorgängen. Aufgetretene Verschmutzungen sind im frischen Zustand mit Wasser zu entfernen.
- Eine gleichartige und gleichmäßige Nachbehandlung (siehe auch DIN 1045-3) muss sichergestellt sein.
- Flüssige Nachbehandlungsmittel dürfen nur eingesetzt werden, wenn durch Vorversuche nachgewiesen wurde, dass deren Einsatz keine Beeinträchtigung der Sichtbetonflächen verursacht.
- Bei der Nachbehandlung durch Abdecken mit Folie dürfen sich keine Hilfsmittel wie Kanthölzer usw. auf den Flächen abzeichnen. Im Raum zwischen Betonfläche und Abdeckung darf keine Zugluft entstehen.
- Ein Schutz vor Witterungseinflüssen (Niederschläge) kann bei jungen Ansichtsflächen der Sichtbetonklassen SB 3 und SB 4 erforderlich sein.
- Die vertikalen Ansichtsflächen sind vor Rostverschmutzungen, z.B. durch die Anschlussbewehrung, zu schützen.

Hinweise und Maßnahmen zur Qualitätssicherung:

Die Koordinierung des Bauablaufes und die Steuerung des Informationsflusses sind vor Baubeginn und baubegleitend zwischen den am Bau beteiligten Parteien sicherzustellen. Es hat sich bewährt, ein „Sichtbeton-team“ zu bilden, um offene Detailfragen zu klären.

Die Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten für die Teilprozesse der Bauausführung sind innerhalb des Sichtbetonteams festzulegen. Dies beinhaltet die Benennung fester Ansprechpartner sowie die Organisation der Schnittstellen.

Verantwortliche im Sichtbetonteam sind im Allgemeinen:

- Auftraggeber, Architekt, Tragwerksplaner, ggf. Sonderfachleute,
- Betoningenieur,
- Bauunternehmen mit Fachleuten für Schalung, Bewehren und Betonieren,
- Betonhersteller (Transportbetonwerk),
- Fertigteilhersteller.

Beurteilung:

Bei der Beurteilung der Sichtbetonflächen ist der Gesamteindruck aus dem üblichen Betrachtungsabstand maßgebend. Einzelkriterien werden nur geprüft, wenn der Gesamteindruck der Ansichtsflächen den vereinbarten Anforderungen nicht entspricht.

Regelwerke:

Für Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen gibt es keine eigenen und allgemeingültigen Normen oder Regelwerke, die Angaben zur Planung, zur Betonzusammensetzung oder zur Bauausführung enthalten.

Einzelne Hinweise sind z.B. in folgenden Regelwerken zu finden:

- DIN 1045, Teil 1-4
- DIN 18 217
- VOB/C: ATV DIN 18 331
- ZTV-ING

Sichtbetonklassen und deren Verknüpfung mit Anforderungen

Sichtbeton- klasse ¹⁾			Beispiel	Anforderungen an geschalte Sicht		
				Textur	Porigkeit ⁴⁾	
					s	ns
Sichtbeton mit	geringen Anforderungen	SB 1	Betonflächen mit geringen gestalterischen Anforderungen, z.B.: Kellerwände oder Bereiche mit vorwiegend gewerblicher Nutzung	T1	P1	
	normalen Anforderungen	SB 2	Betonflächen mit normalen gestalterischen Anforderungen, z.B.: Treppenhäuseräume; Stützwände	T2	P2	P1
	besonderen Anforderungen	SB 3	Betonflächen mit hohen gestalterischen Anforderungen, z.B.: Fassaden im Hochbau	T2	P3	P2
		SB 4	Betonflächen mit besonders hoher gestalterischer Bedeutung, repräsentative Bauteile im Hochbau	T3	P4	P3

1) Zur Erfüllung der Anforderungen an die Sichtbetonklassen sind die Hinweise dieses Merkblatts zu beachten.

2) Die gestalterische Wirkung der Ansichtsfläche einer Sichtbetonklasse ist grundsätzlich nur in ihrer Gesamtwirkung angemessen beurteilbar, d.h. nicht nach Maßgabe absolut erklärter Einzelmerkmale. Die Verfehlung von vertraglich vereinbarten Einzelmerkmalen im Sinne dieses Merkblattes soll daher dann nicht zu einer Pflicht zur Mängelbeseitigung führen, wenn der Gesamteindruck des betroffenen Bauteils oder Bauwerks in seiner Gestaltungswirkung nicht gestört ist.

betonflächen ^{2), 3)} nach Klassen bezüglich					Weitere Anforderungen		Kosten
Farbtongleich- mäßigkeit ⁵⁾		Ebenheit	Arbeits- und Schal- hautfugen	Erprobungs- fläche ⁶⁾	Schalhaut- klasse ⁷⁾		
s	ns						
FT1	FT1	E1	AF1	freigestellt	SHK1	niedrig	
FT2	FT2	E1	AF2	empfohlen	SHK2	mittel	
FT2	FT2	E2	AF3	dringend empfohlen	SHK2	hoch	
FT3	FT2	E3	AF4	erforderlich	SHK3	sehr hoch	

³⁾ Diese Anforderungen/Eigenschaften werden in Tabelle 2, DBV-Merkblatt Sichtbeton näher beschrieben.

⁴⁾ Siehe Tabelle 4, DBV-Merkblatt Sichtbeton

Erläuterung: s = saugende bzw. ns = nichtsaugende Schalhaut

⁵⁾ Der Gesamteindruck bei vorhandenen oder nicht vorhandenen Farbtonunterschieden ist i.d.R. erst nach längerer Standzeit (u.U. nach mehreren Wochen) beurteilbar. Die Farbtongleichmäßigkeit ist aus dem üblichen Betrachtungsabstand gemäß Abschnitt 7 zu beurteilen.

⁶⁾ Gegebenfalls sollten mehrere Erprobungsflächen angefertigt werden.

⁷⁾ Siehe Tabelle 3, DBV-Merkblatt Sichtbeton

Zement – der Kleber für unsere Bauwerke



Übersicht
Die neuen Zementnormen
2013

Normen und Richtlinien

11. Normen und Richtlinien

11.1 Zement, Bindemittel

DIN 1164 Zement mit besonderen Eigenschaften

- Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt (Ausgabe 03.2013)
- Teil 11: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit verkürztem Erstarren (Ausgabe 11.2003)
- Teil 12: Zemente mit einem erhöhten Anteil an organischen Zusätzen (Ausgabe 06.2005)

DIN EN 196 Prüfverfahren für Zement

- Teil 1: Bestimmung der Festigkeit (Ausgabe 05.2005)
- Teil 2: Chemische Analyse von Zement (Ausgabe 10.2012)
- Teil 3: Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit (Ausgabe 02.2009)
- Teil 5: Prüfung der Puzzolanität von Puzzolanementen (Ausgabe 06.2011)
- Teil 6: Bestimmung der Mahlfeinheit (Ausgabe 05.2010)
- Teil 7: Verfahren für die Probenahme und Probenauswahl von Zement (Ausgabe 02.2008)
- Teil 8: Hydratationswärme/Lösungsverfahren (Ausgabe 07.2010)

- Teil 9: Hydratationswärme/Teiladiabatisches Verfahren (Ausgabe 07.2010)
- Teil 10: Bestimmung des Gehaltes an wasserlöslichem Chrom (VI) in Zement (Ausgabe 10.2006)

DIN EN 197 Zement

- Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement (Ausgabe 11.2011)
- Teil 2: Konformitätsbewertung (Ausgabe 01.2012)

DIN EN 413 Putz- und Mauerbinder

- Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien (Ausgabe 07.2011)
- Teil 2: Prüfverfahren (Ausgabe 08.2005)

DIN EN 14216 Zement; Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme (Ausgabe 08.2004)

11.2 Zusatzstoff

DIN 51043 Trass Anforderungen, Prüfung (Ausgabe 08.1979)

DIN EN 450 Flugasche für Beton

- Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien (Ausgabe 10.2012)
- Teil 2: Konformitätsbewertung (Ausgabe 05.2005)

- DIN EN 12878 Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfung (Ausgabe 05.2006)
- DIN EN 13263 Silicastaub für Beton
- Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien (Ausgabe 07.2009)
- Teil 2: Konformitätsbewertung (Ausgabe 07.2009)
- DIN EN 15167 Hüttensandmehl zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einpressmörtel
- Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien (Ausgabe 12.2006)
- Teil 2: Konformitätsbewertung (Ausgabe 12.2006)

11.3 Gesteinskörnung

- DIN 1100 Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche – Anforderungen und Prüfverfahren (Ausgabe 05.2004)
- DIN 4226 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel
- Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen (Ausgabe 02.2002)
- DIN V 18004 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken; Prüfverfahren für Gesteinskörnungen nach DIN V 20000-103 und DIN V 20000-104 (Ausgabe 04.2004)

DIN V 20000	Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken
	Teil 102: Gesteinskörnung nach DIN EN 13383-1 (Ausgabe 04.2004)
	Teil 103: Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 (Ausgabe 04.2004)
	Teil 104: Leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1 (Ausgabe 04.2004)
	Teil 105: Gesteinskörnungen nach DIN EN 13450 (Ausgabe 04.2005)
DIN EN 932	Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen
	Teil 1: Probenahmeverfahren (Ausgabe 11.1996)
	Teil 2: Verfahren zum Einengen von Laboratoriums- proben (Ausgabe 03.1999)
	Teil 3: Durchführung und Terminologie einer vereinfachten petrographischen Beschreibung (Ausgabe 12.2003)
	Teil 5: Allgemeine Prüfeinrichtung und Kalibrierung (Ausgabe 05.2012)
	Teil 6: Definitionen für die Wiederholpräzision und Vergleichspräzision (Ausgabe 07.1999)
DIN EN 933	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen
	Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung, Siebverfahren (Ausgabe 03.2012)
	Teil 2: Bestimmung der Korngrößenverteilung, Analysensiebe, Nennmaße der Sieböffnungen (Ausgabe 01.1996)

- Teil 3: Bestimmung der Kornform, Plattigkeitskennzahl (Ausgabe 04.2012)
- Teil 4: Bestimmung der Kornform, Kornformkennzahl (Ausgabe 06.2008)
- Teil 4: Berichtigung 1 (Ausgabe 09.2008)
- Teil 5: Bestimmung des Anteils an gebrochenen Körnern in groben Gesteinskörnungen (Ausgabe 02.2005)
- Teil 6: Fließkoeffizient von Gesteinskörnungen (Ausgabe 02.2002)
- Teil 6: Berichtigung 1 (Ausgabe 09.2004)
- Teil 7: Bestimmung des Muschelschalengehaltes – Prozentsatz von Muschelschalen in groben Gesteinskörnungen (Ausgabe 05.1998)
- Teil 8: Beurteilung von Feianteilen, Sandäquivalent-Verfahren (Ausgabe 04.2012)
- Teil 9: Beurteilung von Feianteilen, Methylenblau-Verfahren (Ausgabe 10.2009)
- Teil 10: Beurteilung von Feianteilen, Kornverteilung von Füller (Luftstrahlsiebung) (Ausgabe 10.2009)
- Teil 11: Anteile der Bestandteile von recycliertem Grobkorn (Ausgabe 05.2011)

DIN EN 1097 Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen

- Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß (Micro-Deval) (Ausgabe 04.2011)
- Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung (Ausgabe 07.2010)
- Teil 3: Bestimmung von Schüttdichte und Hohlraumgehalt (Ausgabe 06.1998)

- Teil 4: Bestimmung des Hohlraumgehaltes an trocken verdichtetem Füller (Ausgabe 06.2008)
- Teil 5: Bestimmung des Wassergehalts durch Ofentrocknung (Ausgabe 06.2008)
- Teil 5: Berichtigung 1 (Ausgabe 09.2008)
- Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme (Ausgabe 12.2005)
- Teil 6: Berichtigung 1 (Ausgabe 06.2010)
- Teil 7: Bestimmung der Dichte von Füller, Pyknometer-Verfahren (Ausgabe 06.2008)
- Teil 7: Berichtigung 1 (Ausgabe 09.2008)
- Teil 8: Bestimmung des Polierwertes (Ausgabe 10.2009)
- Teil 9: Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß durch Spikereifen – Nordische Prüfung (Ausgabe 10.2005)
- Teil 10: Bestimmung der Wassersaughöhe (Ausgabe 03.2003)

DIN EN 1367 Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen

- Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel (Ausgabe 06.2007)
- Teil 2: Magnesiumsulfat-Verfahren (Ausgabe 02.2010)
- Teil 3: Kochversuch für Sonnenbrand-Basalt (Ausgabe 06.2001)
- Teil 3: Berichtigung 1 (Ausgabe 09.2004)
- Teil 4: Bestimmung der Trockenschwindung (Ausgabe 06.2008)

- Teil 5: Bestimmung des Widerstandes gegen Hitzebeanspruchung (Ausgabe 04.2011)
- Teil 6: Prüfverfahren für thermische Eigenschaften (Ausgabe 12.2008)

DIN EN 1744 Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen

- Teil 1: Chemische Analyse (Ausgabe 03.2013)
- Teil 3: Herstellung von Eluaten durch Auslaugung von Gesteinskörnungen (Ausgabe 11.2002)
- Teil 4: Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Füllern in bitumenhaltigen Mischungen (Ausgabe 10.2005)
- Teil 5: Bestimmung der säurelöslichen Chloride (Ausgabe 12.2006)
- Teil 6: Bestimmung des Einflusses von Auszügen rezyklierter Gesteinskörnung auf den Erstarrungsbeginn von Zement (Ausgabe 12.2006)
- Teil 7: Prüfverfahren für chemische Eigenschaften (Ausgabe 05.2012)

DIN EN 12620 Gesteinskörnungen für Beton (Ausgabe 07.2008)

DIN EN 13055 Leichte Gesteinskörnungen (Ausgabe 05.2012)

11.4 Zusatzmittel

DIN EN 480 Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel -
Prüfverfahren

- Teil 1: Referenzbeton und Referenzmörtel für
 Prüfungen (Ausgabe 09.2011)
- Teil 2: Bestimmung der Erstarrungszeit
 (Ausgabe 11.2006)
- Teil 4: Bestimmung der Wasserabsonderung des
 Betons (Bluten) (Ausgabe 03.2006)
- Teil 5: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme
 (Ausgabe 12.2005)
- Teil 6: Infrarot-Untersuchung (Ausgabe 12.2005)
- Teil 8: Bestimmung des Feststoffgehalts
 (Ausgabe 08.2012)
- Teil 10: Bestimmung des wasserlöslichen
 Chloridgehaltes (Ausgabe 01.2010)
- Teil 11: Bestimmung von Luftporenkennwerten in
 Festbeton (Ausgabe 12.2005)
- Teil 12: Bestimmung des Alkaligehaltes von
 Zusatzstoffen (Ausgabe 12.2005)
- Teil 13: Referenz-Baumörtel für die Prüfung von
 Zusatzmitteln für Mörtel (Ausgabe 09.2011)

DIN EN 934 Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel

- Teil 1: Gemeinsame Anforderungen
 (Ausgabe 04.2008)
- Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Anfor-
 derungen, Konformität, Kennzeichnung
 und Beschriftung (Ausgabe 08.2012)

- Teil 3: Zusatzmittel für Mauermörtel – Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung (Ausgabe 09.2012)
- Teil 4: Zusatzmittel für Einpressmörtel – Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung (Ausgabe 09.2009)
- Teil 5: Zusatzmittel für Spritzbeton – Begriffe, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung (Ausgabe 02.2008)
- Teil 6: Probenahme, Konformitätskontrolle (Ausgabe 03.2006)

11.5 Zugabewasser

- DIN EN 1008 Zugabewasser für Beton; Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton (Ausgabe 10.2002)
- ISO 4316 Grenzflächenaktive Stoffe; Bestimmung des pH-Wertes wässriger Lösungen; Potentiometermethode (Ausgabe 08.1977)
- ISO 10530 Wasserbeschaffenheit; Bestimmung von gelöstem Sulfid, Photometrisches Verfahren mit Methylenblau (Ausgabe 02.1992)
- DIN EN ISO 7887 Wasserbeschaffenheit – Untersuchung und Bestimmung der Färbung (Ausgabe 04.2012)

11.6 Beton

- DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
- Teil 1: Bemessung und Konstruktion
 (Ausgabe 08.2008)
- Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften,
 Herstellung und Konformität – Anwendungs-
 regeln zu DIN EN 206-1 (Ausgabe 08.2008)
- Teil 3: Bauausführung (Ausgabe 03.2012)
- Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und
 die Konformität von Fertigteilen
 (Ausgabe 02.2012)
- DIN 4030 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase
- Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte (Ausgabe 06.2008)
- Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und
 Bodenproben (Ausgabe 06.2008)
- DIN 4235 Verdichten von Beton durch Rütteln
- Teil 1: Rüttelgeräte und Rüttelmechanik
 (Ausgabe 12.1978)
- Teil 2: Verdichten mit Innenrüttlern (Ausgabe 12.1978)
- Teil 3: Verdichten bei der Herstellung von Fertig-
 teilen mit Außenrüttlern (Ausgabe 12.1978)
- Teil 4: Verdichten von Ortbeton mit Schalungs-
 rüttlern (Ausgabe 12.1978)
- Teil 5: Verdichten mit Oberflächenrüttlern
 (Ausgabe 12.1978)
- DIN 18551 Spritzbeton – Anforderungen, Herstellung, Bemessung
 und Konformität (Ausgabe 02.2010)

DIN 52170 Bestimmung der Zusammensetzung von erhärtetem Beton

- Teil 1: Allgemeines, Begriffe, Probenahme, Trockenrohdichte (Ausgabe 02.1980)
- Teil 2: Salzsäureunlöslicher und kalkstein- und/oder dolomithaltiger Zuschlag. Ausgangsstoffe nicht verfügbar (Ausgabe 02.1980)
- Teil 3: Salzsäureunlöslicher Zuschlag. Ausgangsstoffe nicht verfügbar (Ausgabe 02.1980)
- Teil 4: Salzsäureunlöslicher und/oder -unlöslicher Zuschlag. Ausgangsstoffe vollständig oder teilweise verfügbar (Ausgabe 02.1980)

DIN EN 206 Beton

- Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (Ausgabe 07.2001)
- Teil 1/A1: Änderung A1 (Ausgabe 10.2004)
- Teil 1/A2: Änderung A2 (Ausgabe 09.2005)
- Teil 9: Ergänzende Regeln für selbstverdichtenden Beton (Ausgabe 09.2010)

DIN EN 12350 Prüfung von Frischbeton

- Teil 1: Probenahme (Ausgabe 08.2009)
- Teil 2: Setzmaß (Ausgabe 08.2009)
- Teil 3: Vebe-Prüfung (Ausgabe 08.2009)
- Teil 4: Verdichtungsmaß (Ausgabe 08.2009)
- Teil 5: Ausbreitmaß (Ausgabe 08.2009)
- Teil 6: Frischbetonrohdichte (Ausgabe 03.2011)
- Teil 7: Luftgehalte; Druckverfahren (Ausgabe 08.2009)

- Teil 8: Selbstverdichtender Beton – Setzfließversuch (Ausgabe 12.2010)
- Teil 9: Selbstverdichtender Beton – Auslauftrichter-versuch (Ausgabe 12.2010)
- Teil 10: Selbstverdichtender Beton – L-Kasten-Versuch (Ausgabe 12.2010)
- Teil 11: Selbstverdichtender Beton – Bestimmung der Sedimentationsstabilität im Siebversuch (Ausgabe 12.2010)
- Teil 12: Selbstverdichtender Beton – Blockierring-Versuch (Ausgabe 12.2010)

DIN EN 12390 Prüfung von Festbeton

- Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen (Ausgabe 12.2012)
- Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen (Ausgabe 08.2009)
Berichtigung (Ausgabe 02.2012)
- Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern (Ausgabe 07.2009)
- Teil 4: Bestimmung der Druckfestigkeit;
Anforderungen an Prüfmaschinen (Ausgabe 12.2000)
- Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern (Ausgabe 07.2009)
- Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern (Ausgabe 09.2010)
- Teil 7: Dichte von Festbeton (Ausgabe 07.2009)
- Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck (Ausgabe 07.2009)
- Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung, Vornorm (Ausgabe 08/2006)

Teil 13: Bestimmung des E-Moduls unter
Druckbelastung (Ausgabe 04.2012)

DIN EN 12504 Prüfung von Beton in Bauwerken

Teil 1: Bohrkernproben; Herstellung, Untersuchung
und Prüfung unter Druck (Ausgabe 07.2009)

Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung; Bestimmung der
Rückprallzahl (Ausgabe 12.2012)

Teil 3: Bestimmung der Ausziehkraft
(Ausgabe 07.2005)

Teil 4: Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit
(Ausgabe 12.2004)

DIN EN 13791 Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken
oder in Bauwerksteilen (Ausgabe 05.2008)

11.7 Sonstige Normen und Regelwerke

DIN 4102 Teil 1 – 22: Brandverhalten von Baustoffen und
Bauteilen (Ausgaben 09.1977 – 11.2004)

DIN 4108 Teil 1 – 10: Wärmeschutz im Hochbau
(Ausgaben 07.2001 – 02.2013)

DIN 4109 Teil 1 + 11: Schallschutz im Hochbau
(Ausgaben 10.2006 – 05.2010)

DIN 11622 Teil 1 – 4; Gärfuttersilos und Güllebehälter
21 – 22 (Ausgaben 07.1994 – 01.2006)

DIN 18195 Teil 1 – 10 Bauwerksabdichtungen
(Ausgaben 04.2009 – 12.2011)

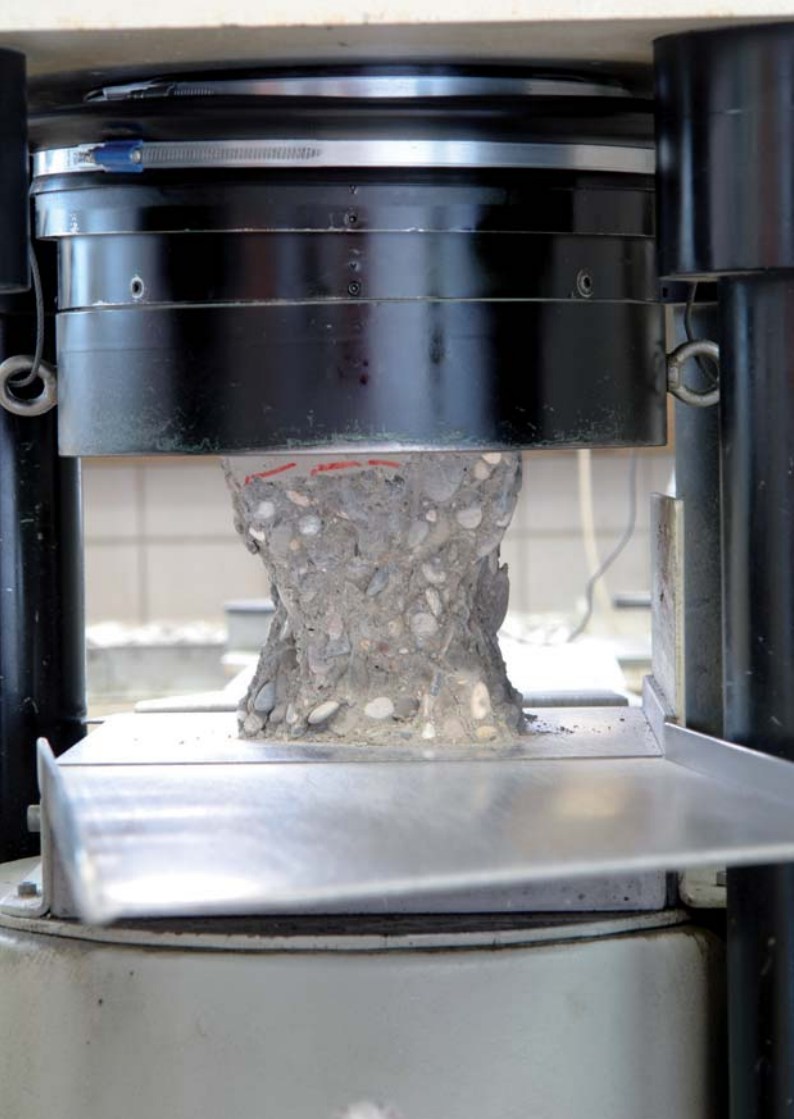
DIN 18331	VOB, Vergabe – und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Betonarbeiten (Ausgabe 04.2010)
DIN V 18500	Betonwerkstein, Begriffe, Anforderungen. Prüfungen, Überwachung (Ausgabe 12.2006)
DIN V 18550	Putz- und Putzsysteme (Ausgabe 05.2012)
DIN 18560	Teil 1 – 4,7 Estriche im Bauwesen (Ausgaben 04.2004)
DIN V 18580	Mauermörtel mit besonderen Eigenschaften (Ausgabe 03.2007)
DIN EN 445	Einpressmörtel für Spannglieder. Prüfverfahren (Ausgabe 01.2008)
DIN EN 446	Einpressmörtel für Spannglieder. Einpressverfahren (Ausgabe 01.2008)
DIN EN 447	Einpressmörtel für Spannglieder. Anforderungen für übliche Einpressmörtel (Ausgabe 01.2008)
DIN EN 459	Teil 1 – 3 Baukalk (Ausgabe 12.2010)
DIN EN 771	Festlegungen für Mauersteine Teil 3: Mauersteine aus Beton (Ausgabe 07.2011) Teil 5: Betonwerksteine (Ausgabe 07.2011)
DIN EN 998	Teil 1 – 2 Festlegung für Mörtel im Mauerwerksbau (Ausgabe 12.2010)

DIN EN 1338	Pflastersteine aus Beton (Ausgabe 08.2010)
DIN EN 1339	Platten aus Beton (Ausgabe 08.2010)
DIN EN 1340	Bordsteine aus Beton (Ausgabe 08.2010)
DIN EN 1536	Bohrpfähle (Ausgabe 12.2010)
DIN Fachbericht 129	Anwendungsdokument zu DIN EN 1536 (Ausgabe 02.2005)
DIN EN 13318	Estrichmörtel und Estriche – Begriffe (Ausgabe 12.2000)
DIN EN 13813	Estrichmörtel und Estrichmassen. Eigenschaften und Anforderungen (Ausgabe 01.2003)
DIN SPEC 18140	Bohrpfähle (Ausgabe 02.2012) Anwendungsdokument zur DIN EN 1536 (Ausgabe 12.2010)

ZTV-ING	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (Ausgabe 2012)
ZTV-Beton StB 07	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (Ausgabe 2007)
TL-Beton StB 07	Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (Ausgabe 2007)
ZTV-W	Technische Vertragsbedingungen Wasserbau (Ausgabe 2005)

11.8 DAfStb-Richtlinien

- Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (Ausgabe 03.2011)
- Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitungszeit (Verzögerter Beton), (Ausgabe 11.2006)
- Richtlinie zur Wärmebehandlung von Beton (Ausgabe 11. 2012)
- Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Ausgabe 02.2007, berichtigt 2010)
- Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie) Teil 1 – 4 (Ausgabe 10.2001)
- Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100 (Ausgabe 09.2010)
- Richtlinie für die Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel (Ausgabe 06.2005)
- Richtlinie Selbstverdichtender Beton (Ausgabe 11.2003)
- Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), (Ausgabe 11.2003)
- Richtlinie Massige Bauteile aus Beton (Ausgabe 04.2010)
- Richtlinie für die Herstellung von Beton unter Verwendung von Restwasser, Restbeton und Restmörtel (Ausgabe 08.1995)
- Richtlinie Stahlfaserbeton (Ausgabe 03.2010)
- Richtlinie für die Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel (Ausgabe 11.2011)



Zeichen und Einheiten

Vorsatz- zeichen	M (Mega-)	k (Kilo-)	d (Dezi-)	c (Zenti-)	m (Milli-)	μ (micro)	n nano
Zehner- potenz	10 ⁶	10 ³	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹

Größe	Zeichen	Einheit		Umrechnung
		seit 1.1.78	früher	
Masse (Gewicht)	m	kg	kg	—
Länge	l	m	m	—
Fläche	A	mm ²	cm ²	1 cm ² = 100 mm ²
Volumen	V	dm ³	dm ³	—
Dichte	ρ	kg/dm ³	kg/dm ³	—
Last, Kraft	F	N (Newton)	kp	1 kp ~ 10 N
Leistung	P	W	PS $\frac{\text{mkp}}{\text{s}}$	1 PS = 736 W $1 \frac{\text{mkp}}{\text{s}} = 10 \text{ W}$
Festigkeit	β	N/mm ² bzw. MPa	kp/cm ²	1 kp/cm ² ~ 0,1 N/mm ²
Temperatur	T	°C	°C	—
Temperatur- differenz	ΔT	K (Kelvin)	grd	1 grd = 1 K
Zeit	t	s	h	1 h = 3.600 s
Wärme- menge	Q	J (Joule) Ws (Wattsek.)	kcal	1 kcal ~ 4,2 kJ 1 kcal ~ 4,2 kW _s
Wärmeleit- fähigkeit	λ	W/m·K	$\frac{\text{kcal}}{\text{m h grd}}$	1 kcal/m h grd = 1,16 W/m·K



SCHWENK Werke und Adressen

13. SCHWENK Werke und Adressen

13.1 SCHWENK Zement KG

Zement – ein Universalprodukt, das sich durch den Pioniergeist über Generationen hinweg zu einem Grundbaustoff für die unterschiedlichsten Bauaufgaben entwickelt hat.

Natürliche Ressourcen bilden dabei seit über 160 Jahren die Grundlage der SCHWENK Zement KG. In vier Werken produziert SCHWENK eine Vielzahl an Zementen und Spezialbaustoffen, die durch planmäßige Auswahl von Rohstoffkomponenten und Zusatzstoffen über unterschiedlichste Eigenschaften verfügen.

Von der Rohstoffgewinnung über die Produktion bis zur Lagerung und Auslieferung wird dabei jeder Schritt überwacht und analysiert. Hochtechnisierte Filteranlagen, lärmarme Produktionsverfahren, umweltfreundliche Logistiksysteme und die Wiederverwertung von

geeigneten Rohstoffen anderer Industrien – jedes SCHWENK Zementwerk ist eine hochmoderne Produktionsanlage mit Verantwortung für unser Lebensumfeld.

Qualität, Beständigkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit bilden dabei das Ziel für SCHWENK: Eine nachhaltige Wertschöpfung im Einklang mit Ökonomie, Ökologie und sozialer Verantwortung.



■ Hauptverwaltung der Baustoffgruppe SCHWENK und Sitz der SCHWENK Zement KG Bauberatung

● Werksstandort der SCHWENK Zement KG

▲ Verkaufsbüro der SCHWENK Zement KG

**Verwaltung**

SCHWENK Zement KG
Hindenburgring 15
89077 Ulm/Donau

Vertrieb, Sekretariat:

Telefon (07 31) 93 41-147

Telefax (07 31) 93 41-396

E-Mail: schwenk-
zement.vertrieb@schwenk.de

Bauberatung, Sekretariat:

Telefon (07 31) 93 41-123

Telefax (07 31) 93 41-398

E-Mail: schwenk-
zement.bau-beratung@schwenk.de

Verkaufsbüros

06406 Bernburg

Telefon (0 34 71) 3 58-5 00

Telefax (0 34 71) 3 58-5 16

97753 Karlstadt

Telefon (0 93 53) 7 97-4 51

Telefax (0 93 53) 7 97-4 99

Werksgruppe Süd

89604 Allmendingen

Telefon (0 73 91) 5 81-0

Telefax (0 73 91) 5 81-1 06

89522 Heidenheim-Mergelstetten

Telefon (0 73 21) 3 10-0

Telefax (0 73 21) 3 10-1 13

Werksgruppe Nord

06406 Bernburg

Telefon (0 34 71) 3 58-0

Telefax (0 34 71) 3 58-1 00

97753 Karlstadt

Telefon (0 93 53) 7 97-0

Telefax (0 93 53) 7 97-1 38

Die SCHWENK Zementwerke

Werksgruppe Süd – Zementwerk Allmendingen



Das SCHWENK Zementwerk in Allmendingen zählt zu den wichtigsten Baustoffproduzenten im süddeutschen Raum. 1888 gegründet, ist es heute der älteste Standort der SCHWENK Zement KG.

Carl Schwenk, der Sohn des Firmengründers Eduard Schwenk, erkannte frühzeitig die optimalen Bedingungen: Große Rohstoffvorkommen an Kalk und Mergel machten und machen Allmendingen zum idealen Standort für die Zementproduktion.

Nach nur einjähriger Bauzeit begann 1889 die Produktion. Mit der Erweiterung und Modernisierung der Anlagen setzt das Werk auch heutzutage Impulse für die Region und präsentiert sich moderner und zukunftsorientierter als je zuvor: Als zuverlässiger Arbeitgeber auf der Flächenalb ebenso wie hochmoderner weltoffener Industriebetrieb.

Werksgruppe Süd – Zementwerk Heidenheim-Mergelstetten



Bereits drei Jahre nachdem in Allmendingen die Produktion begonnen hatte, legte Carl Schwenk 1901 in Mergelstetten bei Heidenheim den Grundstein für den Bau eines weiteren Zementwerkes. Durch die großen Rohstoffvorkommen entwickelte sich das Werk rasch zu einem über die Region hinaus bedeutenden Zentrum der Baustoffproduktion.

Investitionen in modernste Produktionsanlagen, Produktinnovationen sowie eine umwelt- und sicherheitsbewusste Betriebsführung machen Mergelstetten heute zu einem Werk, das dem neuesten Stand der Technik entspricht.

Werksgruppe Nord – Zementwerk Bernburg



In Bernburg betreibt die SCHWENK Zement KG seit 1992 eines der größten und modernsten Zementwerke Europas. Bereits zu DDR-Zeiten war die Saalestadt traditionell für die Zementproduktion bekannt.

Der Erwerb der VEB-Anlagen durch SCHWENK 1990 brachte die Fortsetzung dieser Tradition und bedeutete gleichzeitig einen völligen Neuanfang: Auf der Grundlage fortschrittlicher Technologien und neuesten Know-hows wurden die bestehenden Produktionsanlagen völlig neu konzipiert und aufgebaut.

Das Werk Bernburg ist ein wichtiger Arbeitgeber und bedeutender Wirtschaftsfaktor für die ganze Region.

Mit kontinuierlichen Investitionen in Technik und Umweltschutz ist das Werk für die Zukunft und die Anforderungen des Marktes hervorragend aufgestellt.

Werksgruppe Nord – Zementwerk Karlstadt



Das nordbayerische Karlstadt ist vorbildlich ausgestattet: Der Einsatz neuester Technologien setzt Maßstäbe bei der Luftreinhaltung sowie beim Lärm- und Erschütterungsschutz.

SCHWENK trägt in Karlstadt aber noch mehr zum Umweltschutz bei: Für den Warenumsatz verfügt das Werk über einen eigenen Hafen. Auf dem Main werden Zement und andere Endprodukte umweltschonend per Schiff transportiert. Auch die Anlieferung von Zusatzstoffen erfolgt auf dem Wasserweg.

Die Produktvielfalt und -kapazität machen das 1937 von SCHWENK erworbene Werk in Karlstadt zu einem der großen und leistungsfähigsten Baustoffproduzenten im fränkischen und hessischen Raum. Ergiebige Muschelkalk-Vorkommen und stetige Investition bieten für Karlstadt auch zukünftig beste Standortqualität.

13.2 SCHWENK Transportbeton GmbH & Co. KG

Transportbeton ist heute längst mehr als die Anlieferung von Beton, Mörtel oder Estrich „just-in-time“. Transportbeton ist ein umfassendes Herstellungs-, Service- und Qualitätskonzept, auf das die Kunden bauen können.



Neben der pünktlichen Zustellung an der Baustelle zählen kontinuierliche Produktqualität und Zuverlässigkeit bei der Herstellung sowie kompetente Projektierung und Beratung vor Ort zu den Leistungen der SCHWENK Transportbetonwerke in Deutschland.

Verwaltung

SCHWENK Transportbeton
GmbH & Co. KG
Hindenburgring 15
89077 Ulm/Donau
Tel.: +49 731 9341-0
Fax: +49 731 9341-106

Werke

Zahlreiche Werke in ganz
Deutschland

Im TBR Transportbetonring – einem Zusammenschluss selbstständiger Transportbetonunternehmen – wird das verfahrenstechnische Know-how gebündelt und den Mitgliedern bereitgestellt. Hierzu zählen auch gemeinsam genutzte Labore, in denen die unterschiedlichsten Materialprüfungen erfolgen.

Unter dem Dach der SCHWENK Transportbeton GmbH & Co. KG finden sich zahlreiche Werke in ganz Deutschland zusammen. Jedes Werk, jeder Partner und jeder Kunde profitiert von dieser leistungsstarken Gemeinschaft.



■ **Bernburg**

Verwaltung
Ständige Betonprüfstelle
Bernburg
Altenburger Chaussee 3
06406 Bernburg
Tel.: +49 3471 3585-42
Fax: +49 3471 3585-40
E-Mail: info@tbr-tz.de
Internet: www.tbr-tz.de

■ **Dresden**

Ständige Betonprüfstelle
Sachsen
Seidnitzer Weg 13
01237 Dresden
Tel.: +49 351 25935-60
Fax: +49 351 25935-68

■ **Erlensee**

Ständige Betonprüfstelle
Hessen
Dieselstraße 6
63526 Erlensee
Tel.: +49 3471 3585-45
Fax: +49 3471 3585-40

■ **Augsburg**

Ständige Betonprüfstelle Süd
Unterfeldweg 2
86517 Wehringen
Tel.: +49 8234 9632-13
Fax: +49 8234 9632-33

■ **Rostock**

Ständige Betonprüfstelle Nord
Werkstraße 5
18069 Rostock
Tel.: +49 381 83934
Fax: +49 381 8016083

■ **Berlin**

Ständige Betonprüfstelle Berlin
Rhinstraße 48c
12681 Berlin - Marzahn
Tel.: +49 30 639759-69
Fax: +49 30 639759-68

■ **Chemnitz**

Ständige Betonprüfstelle
Sachsen
Alte Herrenhaider Straße 14
09228 Wittgensdorf
Tel.: +49 351 25935-41
Fax: +49 351 25935-68

■ **Stuttgart**

Ständige Betonprüfstelle
Stuttgart
Dantestraße 19
70197 Stuttgart
Tel.: +49 711 510979-60
Fax: +49 711 510979-65

■ **München**

Ständige Betonprüfstelle Süd
Ludwigsfelder Straße 166
80997 München
Tel.: +49 89 450567-31
Fax: +49 89 450567-66

Kompetent und zuverlässig

Die TBR Technologiezentrum GmbH & Co. KG betreibt seit 1993 Labore, in denen Beton, Mörtel und Gesteinskörnungen sowie dessen Bestandteile überwacht und geprüft werden.

Mit 9 Laborstandorten in 8 Bundesländern bieten wir auf Grundlage einer Geräteausrüstung auf dem neuesten Stand der Prüftechnik und kompetentem Fachpersonal die Voraussetzung für die Erfüllung der Kundenanforderungen.

Als akkreditiertes Prüflabor nach DIN EN ISO/IEC 17025 haben wir uns zur Qualität unserer Arbeit verpflichtet. Unsere Kompetenz und Zuverlässigkeit stellen wir auch auf dem Gebiet der Zustandsanalysen von Bauwerken, Erstellung von Gutachten und Erstellung von Sanierungsvorschlägen unter Beweis.



Festbetonstrecke Labor



Frost- und Tausalzprüfung in CDF-Truhe



Äquivalenter Biegezug



E-Modulbestimmung



CPA-Analyse

Notizen

[illegible]

Beton



SCHWENK Zement KG
Hindenburgring 15 · 89077 Ulm
Telefon: 07 31/93 41 - 0 · Telefax: 07 31/93 41 - 4 16
Internet: www.schwenk-zement.de