

Beton nach Maß

Betontechnische Daten für die Praxis



Dyckerhoff GmbH
Wiesbaden

Hauptverwaltung
Mainz-Amöneburg (Stadtkreis Wiesbaden)

Postadresse:
Postfach 2247, 65012 Wiesbaden

Telefon: +49 611 676-0
Telefax: +49 611 676-1040
E-Mail: info@dyckerhoff.com
Internet: www.dyckerhoff.com

Verkaufsbereiche der Dyckerhoff GmbH



Siloware Nordwest Niederlande/Belgien/Dänemark

Dyckerhoff GmbH
Lienener Straße 89, 49525 Lengerich
Telefon: +49 5481 31-436
verkauf-nordwest@dyckerhoff.com

Siloware Südost/Schweiz

Dyckerhoff GmbH
Biebricher Straße 68, 65203 Wiesbaden
Telefon: +49 6 11 676-1237
verkauf-suedost@dyckerhoff.com

Sackware

Dyckerhoff GmbH
Lienener Straße 89, 49525 Lengerich
Telefon: +49 5481 31-315
sackzement@dyckerhoff.com

Export und Tiefbohrzement

Dyckerhoff GmbH
Biebricher Straße 68, 65203 Wiesbaden
Telefon: +49 6 11 676-1282
export@dyckerhoff.com

Infrastruktur- und Spezialbaustoffe

Dyckerhoff GmbH
Biebricher Straße 68, 65203 Wiesbaden
Telefon: +49 6 11 676-1292
verkauf-suedost@dyckerhoff.com

Weisszement

Dyckerhoff GmbH
Biebricher Straße 68, 65203 Wiesbaden
Telefon: +49 6 11 676-1171 + -1172
weisszement@dyckerhoff.com

Verkaufsregionen Transportbeton



Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG

Zentrale

Biebricher Straße 68
65203 Wiesbaden
Postfach 2247
65012 Wiesbaden

Tel.: +49 611 676-3720
Fax: +49 611 676-3725
info@transportbeton.de

Region Nord

Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG

Niederlassung Hamburg

Eversween 30
21107 Hamburg

Tel.: +49 40 3 09 93 70
Fax: +49 40 3 09 93 76
info.hamburg@dyckerhoff.com

Dyckerhoff Beton Weser-Ems GmbH & Co. KG

Lienener Str. 89
49525 Lengerich

Tel.: +49 541 96 38 85-01
Fax: +49 541 96 38 85-31
info.weser-ems@dyckerhoff.com

Region West

Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG

Niederlassung Rhein-Ruhr

Am Blankenwasser 18
41468 Neuss

Tel.: +49 2131 7 18 16-0
Fax: +49 2131 7 18 16-26
vertrieb-rheinruhr@dyckerhoff.com

Dyckerhoff Beton Rheinland-Pfalz GmbH & Co. KG

Rheinstraße 159
56564 Neuwied

Tel.: +49 2642 97 69-0
Fax: +49 2642 97 69-15
info@dyb-rheinland-pfalz.de

Region Ost

Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG

Niederlassung Elbe-Spree

Möllendorffstraße 44
10367 Berlin

Tel.: +49 30 42 84 71-0
Fax: +49 30 42 84 71-79
info@dyckerhoff-elbe-spree.de

Dyckerhoff Transportbeton

Thüringen GmbH & Co. KG

An der Lache 27
99086 Erfurt

Tel.: +49 361 5 54 78-0
Fax: +49 361 5 54 78-29
info@dytb-thueringen.de

**Dyckerhoff Transportbeton
Schmalkalden GmbH & Co. KG**

An der Lache 27
99086 Erfurt

Tel.: +49 361 5 54 78-0
Fax: +49 361 5 54 78-29
info@dytb-schmalkalden.de

Lichtner – Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG

Schulenburgstr. 23
(Südhafen)
13597 Berlin

Tel.: +49 30 33 00 02-0
Fax: +49 30 33 00 02-18
info@lichtner-dyckerhoff.de
www.lichtner.dyckerhoff.de

Region Süd

**Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG
Niederlassung Rhein-Main-Taunus**

Liebigstraße 16
65439 Flörsheim

Tel.: +49 6145 95 69-0
Fax: +49 6145 95 69-70
info.rhein-main-taunus@dyckerhoff.com

**Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG
Niederlassung Saar-Mosel**

Hartmanns Au 1
69119 Saarbrücken

Tel.: +49 681 85 99-0
Fax: +49 681 85 99-99
info.saar-mosel@dyckerhoff.com

Betontechnologie

Zentrallabor NORD/WEST

Fixheider Straße 8
51381 Leverkusen

Tel.: +49 2171 34 27-71
Fax: +49 2171 34 27-87
Zentrallabor.Nord-West@dyckerhoff.com

Zentrallabor SÜD/OST

Lippoldsrüh 8
08132 Mülsen

Tel.: +49 361 5 54 78-19
Fax: +49 361 5 54 78-29
Zentrallabor.Sued-Ost@dyckerhoff.com

www.transportbeton.de

info@transportbeton.de

Inhaltsverzeichnis

1	Zement	15
1.1	Zementarten und Anwendungsbereiche	15
1.1.1	Normalzemente nach DIN EN 197-1	15
1.2	Zementeigenschaften	17
1.2.1	Druckfestigkeit	17
1.2.2	Mahlfeinheit	18
1.2.3	Erstarren	18
1.2.4	Raubeständigkeit	18
1.2.5	Farbe (Helligkeit des Zementes)	19
1.2.6	Dichte und Schüttdichte	19
1.2.7	Zementtemperatur	19
1.2.8	Niedrige Hydratationswärme (LH-Zemente)	19
1.3	Besondere Zementeigenschaften	20
1.3.1	Hoher Sulfatwiderstand (SR-Zemente) nach DIN EN 197-1	20
1.3.2	Na-Zemente nach DIN 1164-10	21
1.4	Überwachung und Konformität	22
1.4.1	Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung AZ	23
1.5	Gesundheitliche Aspekte beim Umgang mit Zement	23
1.6	Dyckerhoff-Zemente	26
1.7	Premium-Zemente und Bindemittel	31
2	Gesteinskörnung für Beton und Mörtel	35
2.1	Begriffe und Definitionen	35
2.2	Normale und schwere Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620	37
2.3	Leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055	43
2.4	Rezyklierte Gesteinskörnungen	44
2.4.1	Rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-101	44
2.4.2	Rezyklierte Gesteinskörnungen nach DAfStb-Richtlinie	46
2.5	Gesteinskörnung mit alkalireaktiver Kieselsäure	48
2.5.1	Feuchtigkeitsklassen	49
2.5.2	Beurteilung der alkaliempfindlichen Gesteinskörnung	50
2.5.3	Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch alkaliempfindliche Gesteinskörnung	52
2.6	Betontechnologische Kennwerte von Gesteinskörnungen	54
2.6.1	Sieblinien	54

2.7	k-Wert und D-Summe	57
2.8	Wasseranspruch	59
3	Zusatzmittel für Beton und Mörtel	61
3.1	Zusatzmittel für Beton	61
3.1.1	Wirkungsgruppen der Betonzusatzmittel	61
3.1.1.1	Betonverflüssiger (BV)	62
3.1.1.2	Fließmittel (FM)	63
3.1.1.3	Verzögerer/Fließmittel (VZ/FM)	64
3.1.1.4	Luftporenbildner (LP)	64
3.1.1.5	Dichtungsmittel (DM)	64
3.1.1.6	Verzögerer (VZ)	65
3.1.1.7	Beschleuniger (BE) und (SBE)	65
3.1.1.8	Einpresshilfen (EH)	65
3.1.1.9	Stabilisierer (ST)	66
3.1.1.10	Viskositätsmodifizierer (VMA)	66
3.1.1.11	Chromatreduzierer (CR)	66
3.1.1.12	Recyclinghilfen für Waschwasser (RH)	67
3.1.1.13	Schaumbildner (SB)	67
3.1.1.14	Schwindreduzierer	67
3.1.2	Zugabemengen von Betonzusatzmitteln	68
3.2	Zusatzmittel für Werk-Frischmörtel	69
3.3	Nachbehandlungsmittel	69
3.4	Handhabung von Betonzusatzmitteln	69
4	Betonzusatzstoffe und Fasern	71
4.1	Reaktive Zusatzstoffe (Typ II)	71
4.1.1	Steinkohleflugaschen	71
4.1.2	Trass	72
4.1.3	Silikastaub/Silikasuspension	72
4.1.4	Hüttensandmehl	73
4.2	Inerte Zusatzstoffe (Typ I)	74
4.2.1	Gesteinsmehle	74
4.2.2	Pigmente	76
4.2.3	Organische Zusatzstoffe	76
4.3	Fasern	77
4.3.1	Kunststoffmikrofasern	77
4.3.2	Kunststoffmakrofasern	78
4.3.3	Stahlfasern	79
4.3.4	Glasfasern	79

5	Zugabewasser	81
6	Beton – Zusammensetzung, Herstellung und Ausführung	87
6.1	Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	87
6.1.1	Begriffe gemäß DIN EN 206	89
6.1.1.1	Allgemeines	89
6.1.1.2	Ausgangsstoffe	91
6.1.1.3	Frischbeton	92
6.1.1.4	Festbeton	94
6.1.1.5	Konformität und Produktionskontrolle	94
6.1.2	Einordnung und Zusammensetzung des Betons	96
6.1.2.1	Expositionsklassen	96
6.1.2.2	Konsistenzklassen	102
6.1.2.3	Druckfestigkeitssklassen	103
6.1.2.4	Klassen nach Größtkorn	106
6.1.2.5	Rohdichteklassen für Leichtbeton	106
6.1.3	Betoneigenschaften, nicht klassiert	107
6.1.3.1	Festigkeitsentwicklung	107
6.1.3.2	Spaltzugfestigkeit	107
6.1.3.3	Wassereindringwiderstand	108
6.1.3.4	Verschleißwiderstand	108
6.1.3.5	Elastizitätsmodul (E-Modul)	108
6.1.3.6	Brandverhalten	109
6.1.4	Anforderungen an die Ausgangsstoffe	110
6.1.5	Grundanforderungen an die Zusammensetzung	113
6.1.5.1	Grenzwerte in Abhängigkeit der Expositionsklassen	113
6.1.5.2	Anwendungsbereiche für Normzemente zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	117
6.1.5.3	Verwendung von Zusatzstoffen des Typ II	123
6.1.5.3.1	Anrechenbarkeit von Flugasche und Silikastaub nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2	124
6.1.5.4	Luftgehalt	125
6.1.5.5	Mehlkorngehalt	126
6.1.5.6	Zusatzmittel	128
6.1.5.7	Chloridgehalt	129
6.1.5.8	Verwendung von Fasern	129
6.1.6	Festlegung des Betons	130
6.1.6.1	Festlegung für Beton nach Eigenschaften	133
6.1.6.2	Festlegung für Beton nach Zusammensetzung	134
6.1.6.3	Zusammensetzung von Standardbeton	135
6.1.6.4	Betone für spezielle Anwendungen	136

6.2	Betontechnologie	138
6.2.1	Mischungsentwurf mit 2 Beispielen	138
6.2.1.1	Die Stoffraumrechnung	138
6.2.1.2	Beziehung zwischen w/z-Wert und Beton- druckfestigkeit („Walz“-Kurven)	139
6.2.1.3	Beispiele für Mischungsentwurf	140
6.2.2	Ermittlung der Frischbetontemperatur	143
6.2.3	Ermittlung der Festbetontemperatur	144
6.3	Beton herstellen, liefern, verarbeiten, nachbehandeln.	146
6.3.1	Bezeichnung für Beton nach Eigenschaften	146
6.3.2	Lieferumfang und Produktpalette Dyckerhoff Beton	148
6.3.3	Bestellung und Disposition	150
6.3.4	Herstellung	152
6.3.5	Lieferung und Konsistenz	153
6.3.6	Frischbetontemperatur und Nachbehandlung	157
6.4	Prüfen von Beton	161
6.4.1	Werkseigene Produktionskontrolle	161
6.4.2	Konformitätskontrolle	162
6.4.2.1	Probenahme- und Prüfplan	162
6.4.2.2	Erstherstellung	162
6.4.2.3	Stetige Herstellung	162
6.4.3	Betonfamilie	164
6.4.3.1	Referenzbeton/Transformation	164
6.4.3.2	Konformitätskriterien	165
6.4.4	Annahmeprüfung nach DIN 1045-3	169
6.4.4.1	Umfang und Häufigkeit der Prüfungen (Beton nach Eigenschaften)	171
6.4.4.2	Annahmekriterien für Druckfestigkeiten	171
6.4.5	Prüfverfahren für Frischbeton	173
6.4.5.1	Probenahme	174
6.4.5.2	Konsistenz-Prüfung	175
6.4.5.3	Frischbetonrohddichte	176
6.4.5.4	Luftporengehalt	177
6.4.6	Prüfverfahren für Festbeton	178
6.4.6.1	Prüfverfahren an gesondert hergestellten Probekörpern.	178
6.4.6.2	Betonprüfung am Bauwerk	179
6.4.6.3	Anhaltswerte zum Verhältnis von Druck- zu Zugfestigkeiten	180
6.4.6.4	Festigkeitsentwicklung von Beton	180
6.5	Besondere Verarbeitungshinweise	181
6.5.1	Betonieren bei kalter Witterung	181
6.5.2	Betonieren bei warmer Witterung	184

6.5.3	Festigkeitsentwicklung in Abhängigkeit von der Betontemperatur	186
7	Betonanwendungen (Hinweise für die praktische Umsetzung)	189
7.1	Leicht verarbeitbare Betone	189
7.1.1	Leicht verdichtbare Betone	189
7.1.1.1	Anwendungsgebiete	189
7.1.1.2	Eigenschaften	190
7.1.1.3	Verarbeitungsvorteile	191
7.1.2	Selbstverdichtender Beton (SVB)	191
7.1.2.1	Anwendungsgebiete	192
7.1.2.2	Eigenschaften	192
7.1.2.3	Verarbeitungsvorteile	192
7.2	Massenbeton	193
7.2.1	Definition	193
7.2.2	Bauteilbedingungen	194
7.2.3	Zugspannungen/Temperaturdifferenz	194
7.2.4	Art und Menge des eingesetzten Zementes sowie w/z-Wert	195
7.2.5	Nachbehandlung	196
7.3	Wasserundurchlässige Bauwerke	196
7.3.1	Allgemeines	196
7.3.2	Regelwerke	197
7.3.3	Begriffe	197
7.3.4	Planung	198
7.3.5	Beton	199
7.3.6	Überwachung	202
7.4	Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	203
7.5	Faserbetone	207
7.5.1	Stahlfaserbetone	207
7.5.2	Kunststofffaserbetone	208
7.5.3	Güteüberwachung und Qualitätssicherung bei der Ausführung von Faserbeton	209
7.6	Bohrpfahlbeton nach DIN EN 1536	210
7.6.1	Allgemeines	210
7.6.2	Anforderungen an den Beton	210
7.6.2.1	Festigkeitsklasse	210
7.6.2.2	Betonzusammensetzung	210
7.6.2.3	Überwachung	212

7.7	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen	212
7.7.1	ZTV-ING für Ingenieurbauten: Teil 3 Massivbau	212
7.7.1.1	Ausgangsstoffe	212
7.7.1.2	Anforderungen an die Betonzusammensetzung	213
7.7.1.3	Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen	215
7.7.1.4	Anforderungen an Frischbeton/Festbeton	216
7.7.1.5	Nachbehandlung	216
7.7.2	ZTV-W für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (LB 215)	218
7.7.2.1	Anforderungen an die Ausgangsstoffe	218
7.7.2.2	Anforderungen an die Betonzusammensetzung	220
7.7.2.3	Anforderungen an Frisch- und Festbeton	221
7.7.2.4	Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen	223
7.7.2.5	Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton für Wasserbauwerke	223
7.7.3	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien, TL Beton-StB, ZTV Beton-StB, TP Beton-StB	224
7.7.3.1	Allgemeines	224
7.7.3.2	Anforderungen an die Ausgangsstoffe	224
7.7.3.3	Anforderungen an den Beton	228
7.8	Hochfester und ultrahochfester Beton	231
7.8.1	VERIDUR für hochfesten Sichtbeton	232
7.8.2	XPOSAL 105 für dünn-schichtige Tragplatten und Verstärkungen	233
7.8.3	Ultra Hochfeste Betone UHFB (ohne Silikastaub)	234
7.9	Sichtbeton/Architekturbeton	235
7.9.1	Allgemeines	235
7.9.2	Vorteile durch den Einsatz von Dyckerhoff WEISS bei Sichtbetonoberflächen	237
7.9.3	Planung und Ausschreibung	237
7.9.3.1	Betonzusammensetzung	237
7.9.3.2	Schalung	240
7.9.3.3	Oberflächenbearbeitung	242
7.9.3.4	Oberflächenbehandlung	243
7.9.3.5	Erprobungs- und Referenzflächen	243
7.9.4	Ausführung	244
7.9.4.1	Beton	244
7.9.4.2	Schalung	245

7.9.4.3	Bewehrung und Einbauteile	246
7.9.4.4	Nachbehandlung	247
7.9.5	Betonkosmetik	248
7.9.6	Beurteilung	248
7.10	Schnellzemente für Mörtel und Betone	250
8	Betonwaren und Betonwerkstein	253
9	Estriche und Spezial- baustoffe im Transportbeton	255
9.1	Estrich	255
9.2	Spezialbaustoffe	257
9.2.1	Verfüllmassen	257
9.2.2	Flüssigboden	260
9.2.3	Dränbeton für versickerungsfähige Verkehrsflächen	262
9.2.4	Bankettbeton	263
9.2.5	Geschliffene Betonbodensysteme	263
9.2.6	Schnellbeton	265
9.2.6.1	VELODUR	265
9.2.6.2	VELODUR Floor	266
10	Baustoffe für Tiefbau und Umweltechnologie	269
10.1	Spezialtiefbau und Infrastrukturprojekte	269
10.2	Tiefbohrzemente	273
11	Normen und Richtlinien	275
12	Dyckerhoff – Wie Zementqualität entsteht.	291



Dyckerhoff ...macht mehr draus.

Mit starken Marken zum Erfolg.



MIKRODUR®
gesichtete Feinstzemente



NANODUR®
für Ultra High Performance
Concrete UHPC

VARIODUR®

SULFADUR®

Next base
CSA-Zemente



**Wilhelm
Dyckerhoff
Institut**
für Baustofftechnologie

Innovative Baustoffe, internationale Präsenz, mehr als 150 Jahre Tradition – all dies verbindet sich mit dem Namen Dyckerhoff. Unter dem Dach der Buzzi Unicem Gruppe bietet das Unternehmen rund um Zement und Beton Lösungen für Kunden in aller Welt.

Das umfangreiche Produkt- und Dienstleistungsangebot ist kundenorientiert, von zuverlässiger Qualität und Innovationskraft.

Um den hohen Anforderungen an unsere Produkte auch in Zukunft gerecht zu werden, forschen und entwickeln die Ingenieure und Wissenschaftler am Wilhelm Dyckerhoff Institut kontinuierlich weiter, besonders unter Berücksichtigung von Umweltschutzaspekten und Nachhaltigkeit.

**Innovative Spezialprodukte
und individueller Service.**

1 Zement

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel. Darunter versteht man einen mineralischen, fein aufgemahlenden Stoff, der nach dem Anmachen mit Wasser selbständig erhärtet und an der Luft und auch unter Wasser fest bleibt. Zement unterscheidet sich von anderen mineralischen Bindemitteln, z. B. von hydraulischen Kalken, Mischbindern und Putz- und Mauerbindern, durch seine höhere Druckfestigkeit.

1.1 Zementarten und Anwendungsbereiche

Zur Herstellung von Beton und Stahlbeton werden in der Regel Zemente nach DIN EN 197-1 und DIN EN 197-5 verwendet. Daneben können aber auch Zemente mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164-10, -11 und -12 sowie bauaufsichtlich zugelassene Zemente unter den in ihren Zulassungen festgelegten Bedingungen eingesetzt werden.

Die Anwendungsbereiche der Zemente nach DIN EN 197-1, DIN EN 197-5 und DIN 1164-10, -11 und -12 für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 sind den Tabellen 6.18 bis 6.20 im Kapitel 6.1.5.2 zu entnehmen.

1.1.1 Normalzemente nach DIN EN 197-1 und DIN EN 197-5

Die Hauptbestandteile der Normalzemente sind Portlandzementklinker und ggf. Hüttensand, Puzzolane, Flugasche, gebrannter Schiefer, Kalkstein sowie Silikastaub (siehe Tabelle 1.1). Nebenbestandteile können Füller sein oder ein oder mehrere Hauptbestandteile, soweit sie nicht mengenmäßig Hauptbestandteil des Zements sind. Zu den weiteren Bestandteilen gehören das Calciumsulfat, das in Form von Dihydrat, Halbdihydrat und/oder Anhydrit zur Regelung des Erstarrens zugesetzt wird, sowie Zementzusätze, auch Mahlhilfsmittel, deren Massenanteil max. 1 % bezogen auf den Zement (ausgenommen Pigmente), betragen darf. Die Menge an organischen Zusatzmitteln im Trockenzustand darf einen Massenanteil von 0,25 %, bez. auf den Zement, nicht überschreiten. Größere Mengen dürfen verwendet werden, müssen aber deklariert werden.

Tabelle 1.1: Normalzemente nach DIN EN 197-1 und DIN EN 197-5; Arten und Zusammensetzung

Hauptarten	Bezeichnung der 32 Produkte (Normalzement)		Zusammensetzung: (Massenanteile in Prozent) ¹⁾										Nebenbestandteile			
			Hauptbestandteile													
			Portlandzementklinker K	Hütten sand S	Silika staub D	Puzzolane natürlich P	natürlich getempert Q	Flugasche kiesel-säure-reich V	kalk-reich W	Gebrannter Ölschiefer T	Kalkstein L LL					
CEM I	Portlandzement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandsilikastaubzement	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandpuzzolan-zement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandflugasche-zement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandschieferzement	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandkalkstein-zement	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5		
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5		
CEM II/B-LL		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5			
Portlandkompositzement	CEM II/A-M	80-88							12-20					0-5		
	CEM II/B-M	65-79							21-35					0-5		
	CEM II/C-M	50-64							36-50					0-5		
CEM III	Hochofenzement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Puzzolan-zement	CEM IV/A	65-89	-	11-35					-	-	-	-	0-5		
		CEM IV/B	45-64	-	-	-	36-55	-	-	-	-	-	-	0-5		
CEM V	Komposit-zement	CEM V/A	40-64	18-30	-	-	18-30	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM V/B	20-38	31-49	-	-	31-49	-	-	-	-	-	-	0-5		
CEM VI	Komposit-zement	CEM VI (S-P)	35-49	31-49	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM VI (S-V)	35-49	31-49	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM VI (S-L)	35-49	31-49	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5		
		CEM VI (S-LL)	35-49	31-49	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5		

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

Beispiele für Normbezeichnungen

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

Bezeichnung eines Hochofenzementes mit einem Massenanteil von Hütensand zwischen 66 % und 80 %, der Festigkeitsklasse 42,5 N mit üblicher Anfangsfestigkeit und geringer Wärmeentwicklung LH nach DIN EN 197-1 sowie hohem Sulfatwiderstand SR und niedrig wirksamen Alkaligehalt (na).

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

Bezeichnung eines Kompositzements mit einem Massenanteil von Hütensand (S) und feinem Kalksteinmehl (LL) zwischen 21 und 35 % der Festigkeitsklasse 42,5 R mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (AZ).

1.2 Zementeigenschaften

1.2.1 Druckfestigkeit

Tabelle 1.2: Festigkeitsklassen der Zemente

Festigkeits- klassen ¹⁾	Druckfestigkeit [MPa] nach				
	2 Tagen min.	7 Tagen min.	28 Tagen min. max.		
32,5	L	–	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5
	N	–	≥ 16,0		
	R	≥ 10,0	–		
42,5	L		≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5
	N	≥ 10,0			
	R	≥ 20,0	–		
52,5	L	≥ 10,0	–	≥ 52,5	
	N	≥ 20,0			
	R	≥ 30,0			

¹⁾ L = Zemente mit niedriger Anfangsfestigkeit

N = Zemente mit normaler Anfangsfestigkeit

R = Zemente mit hoher Anfangsfestigkeit

1.2.2 Mahlfeinheit

Die DIN EN 197-1 stellt keine Anforderungen an die Mahlfeinheit. Die Werte der Mahlfeinheit (spezifische Oberfläche nach Blaine in cm^2/g) werden im Rahmen der internen Qualitätslenkung ermittelt.

Zur Beurteilung der Anwendungseigenschaften ist die Kornverteilung des Zementes wesentlich aussagekräftiger.

1.2.3 Erstarren

Das Erstarren des Zementes ist die Vorstufe der Erhärtung. Damit eine ausreichende Zeit für die Verarbeitung von Mörtel und Beton zur Verfügung steht, ist nach DIN EN 197-1 der Beginn des Erstarrens in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse geregelt. Davon abweichendes Erstarrungsverhalten zeigen Zemente mit frühem Erstarren (FE-Zemente) und schnellerstarrende Zemente (SE-Zemente) nach DIN 1164-11 (Tabelle 1.3).

Tabelle 1.3: Erstarrungsbeginn von Zementen nach DIN EN 197-1 und DIN 1164-11

Festigkeitsklasse	Erstarrungsbeginn [min]		
	Zement DIN EN 197-1	FE-Zement DIN 1164-11	SE-Zement DIN 1164-11
32,5	≥ 75	≥ 15 und < 75	
42,5	≥ 60	≥ 15 und < 60	≤ 45
52,5	≥ 45	≥ 15 und < 45	

Der Erstarrungsbeginn wird nach DIN EN 196-3 mit dem Nadelgerät nach Vicat am Zementleim bestimmt. Bei SE-Zementen erfolgt die Bestimmung des Erstarrungsbeginns nach DIN 1164-11, Anhang A. Das Erstarrungsende von Zement ist keine Normanforderung.

1.2.4 Raumbeständigkeit

Voraussetzung für die Herstellung eines dauerhaften Betons ist die Raumbeständigkeit der verwendeten Zemente bei Wasserlagerung. Ein Zement ist raumbeständig, wenn das mittels Le-Chatelier-Versuch (DIN EN 196-3) ermittelte Dehnungsmaß ≤ 10 mm beträgt.

1.2.5 Farbe (Helligkeit des Zementes)

Helligkeit und Farbe des Zementes sollen möglichst gleichmäßig sein. Die Farbe eines Zementes hängt von den verwendeten Rohstoffen, dem Herstellungsverfahren und der Mahlfeinheit ab. Feingemahlene Zemente desselben Herstellwerkes sind in der Regel heller als gröber gemahlene Zemente. Die Zementfarbe lässt keine Rückschlüsse auf die zu erwartenden Zementeigenschaften zu.

1.2.6 Dichte und Schüttdichte

Tabelle 1.4: Dichte und Schüttdichte verschiedener Zementarten

Zementart	Dichte [kg/dm ³]	Schüttdichte [kg/dm ³]	
		lose eingelaufen	ingerüttelt
Portlandzement	3,10	0,9–1,1	1,2–1,8
Portlandhüttenzement	3,05		
Portlandkalksteinzement	3,05		
Hochofenzement	3,00		
Puzzolanzement	2,90		
Portlandkompositzement	3,00		

1.2.7 Zementtemperatur

Hohe Zementtemperaturen haben im Allgemeinen keinen schädlichen Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung. Eine Erhöhung der Zementtemperatur um 10 °C (10 K) verursacht im Frischbeton eine Temperaturerhöhung von nur 1 °C (1 K).

1.2.8 Niedrige Hydratationswärme (LH-Zemente)

LH-Zemente entwickeln eine niedrige Hydratationswärme und sind besonders für massige Bauteile geeignet. Die Wärmemenge darf den charakteristischen Wert von 270 J/g Zement nicht überschreiten. Die Wärmemenge wird nach 7 Tagen gemäß DIN EN 196-8 oder nach 41 Stunden nach DIN EN 196-9 bestimmt.

Tabelle 1.5: Richtwerte für die Hydratationswärme von Zementen

Festigkeits- klasse	Festigkeits- und Wärme- entwicklung	Hydratationswärme [J/g] nach ... Tagen bei 18–21 °C bestimmt mit dem Lösungskalorimeter ¹⁾			
		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

¹⁾ DIN EN 196-8

1.3 Besondere Zementeigenschaften

1.3.1 Hoher Sulfatwiderstand (SR-Zemente) nach DIN EN 197-1

SR-Zemente haben einen hohen Sulfatwiderstand. So sind z.B. bei einem Sulfatgehalt des Grundwassers über 600 mg/l Sondermaßnahmen zum Schutz des Betons erforderlich. Dabei ist die Verwendung von SR-Zement eine nach dem Stand der Technik sichere Lösung. Im Bereich > 1500 mg/l Sulfat im Grundwasser müssen SR-Zemente (Tabelle 1.6 und 1.7) eingesetzt werden.

Tabelle 1.6: Die sieben Produkte der Familie Normalzemente mit hohem Sulfatwiderstand

Haupt- arten	Bezeichnung der 7 Produkte (Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand)		Zusammensetzung: (Massenanteil in Prozent ¹⁾)				Neben- bestand- teile
			Hauptbestandteile				
			Klinker K	Hüttensand S	Natürliches Puzzolan P	Kieselsäure reiche Flugasche V	
CEM I	Portlandzement mit hohem Sulfatwiderstand	CEM I-SR 0	95–100	–	–	–	0–5
		CEM I-SR 3					
		CEM I-SR 5					
CEM III	Hochofenzement mit hohem Sulfatwiderstand	CEM III/B-SR	20–34	66–80	–	–	0–5
		CEM III/C-SR	5–19	91–95	–	–	
CEM IV	Puzzolanzement mit hohem Sulfatwiderstand ²⁾	CEM IV/A-SR	65–79	21–35		0–5	
		CEM IV/B-SR	45–64	36–55			

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.

Tabelle 1.7: Anforderungen an SR-Zemente

Hauptart	Bezeichnung der Produkte		Anforderung
CEM I	Portlandzement mit hohem Sulfatwiderstand	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5	C_3A -Gehalt des Klinkers = 0 % C_3A -Gehalt des Klinkers \leq 3 % C_3A -Gehalt des Klinkers \leq 5 %
CEM III	Hochofenzement mit hohem Sulfatwiderstand	CEM III/B-SR CEM III/C-SR	Keine Anforderungen an den C_3A -Gehalt des Klinkers
CEM IV	Puzzolanzement mit hohem Sulfatwiderstand	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	C_3A -Gehalt des Klinkers \leq 9 %

1.3.2 NA-Zemente nach DIN 1164-10

NA-Zemente haben einen niedrigen wirksamen Alkaligehalt. Sie sind bei Verwendung von Gesteinskörnung mit alkaliempfindlichen Bestandteilen, die z. B. in einigen Bereichen im Norden und Osten Deutschlands vorkommen, unter bestimmten Bedingungen zu verwenden, vgl. auch Kapitel 2.5. (na)-Zemente nach DIN EN 197-1 erfüllen die Anforderungen der NA-Eigenschaft aus DIN 1164-10. Dies wird durch eine freiwillige Erklärung des Zementherstellers bestätigt.

(na)-Zemente mit besonderen Eigenschaften müssen die Anforderungen wie Normalzemente nach DIN EN 197-1 erfüllen und darüber hinaus einen niedrigen wirksamen Alkaligehalt aufweisen.

Die Bestandteile und die Zusammensetzungen der Zemente müssen den Festlegungen in DIN EN 197-1 entsprechen.

Tabelle 1.8: Zusätzliche Anforderungen an Zement mit besonderen Eigenschaften, definiert als charakteristische Werte

Zementart	Anforderungen (Massenanteile in Prozent)	Prüfverfahren
(na)-Zement		
CEM I bis CEM V	$\leq 0,60$ % Na_2O -Äquivalent	DIN EN 196-2 und Zement-Kalk-Gips 49 (1996) Nr. 2, S. 108 bis 113
CEM II/B-S	≥ 21 % Hüttensand und $\leq 0,70$ % Na_2O -Äquivalent	
CEM III/A	≤ 49 % Hüttensand und $\leq 0,95$ % Na_2O -Äquivalent	
	≥ 50 % Hüttensand und $\leq 1,10$ % Na_2O -Äquivalent	
CEM III/B	Zusammensetzung nach Tabelle 1 von DIN EN 197-1:2004-08 und $\leq 2,00$ % Na_2O -Äquivalent	
CEM III/C	Zusammensetzung nach Tabelle 1 von DIN EN 197-1:2004-08 und $\leq 2,00$ % Na_2O -Äquivalent	

1.4 Überwachung und Konformität

Zemente nach DIN EN 197-1 und nach DIN 1164 sowie nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung werden durch die werkseigene Produktionskontrolle des Herstellers (Eigenüberwachung) und durch eine anerkannte Überwachungs- und Prüfstelle (Fremdüberwachung) regelmäßig überwacht und geprüft. Die Konformität (Übereinstimmung) des Zements nach DIN EN 197-1 wird durch das Zertifikat der Leistungsbeständigkeit bescheinigt. Für Zemente nach DIN 1164 oder Zemente mit bauaufsichtlicher Zulassung wird die Konformität mittels Übereinstimmungszertifikat bescheinigt. Die Konformität wird bescheinigt durch das Übereinstimmungszertifikat bzw. Zertifikat der Leistungsbeständigkeit einer anerkannten Zertifizierungsstelle. Hierzu gehören neben dem CE-Zeichen die Kennnummer der Zertifizierungsstelle, die Herstellerangabe, die Norm- und Zementbezeichnung sowie dessen Referenznummer. Weitere Angaben sind die Hinweise zur Verwendung

des Produktes und die erklärte Leistung. Zemente nach DIN 1164-10, -11 und -12 sowie die Zemente mit bauaufsichtlicher Zulassung erhalten weiterhin das Ü-Zeichen.

1.4.1 Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung AZ

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen werden für solche Bauprodukte und Bauarten im Anwendungsbereich der Landesbauordnungen erteilt, für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik, insbesondere DIN Normen, nicht gibt oder die von diesen wesentlich abweichen. Sie sind zuverlässige Verwendbarkeitsnachweise von Bauprodukten bzw. Anwendbarkeitsnachweise von Bauarten in Hinblick auf bautechnische Anforderungen an Bauwerke.

1.5 Gesundheitliche Aspekte beim Umgang mit Zement

Beim Anmachen mit Wasser zu Mörtel und Beton reagieren Zemente stark alkalisch. Nach der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 ändert sich die Kennzeichnung im Bereich der Gefahrensymbole sowie der Gefahren- und Sicherheitshinweise. Zement ist weiterhin als „reizend“ einzustufen und mit dem Gefahrenhinweis H315 und H355 zu kennzeichnen. In der Regel gelten die H (Gefahrenhinweise)- und P (Sicherheitshinweise)-Sätze:

Persönliche Schutzausrüstung (Schutzhandschuhe, -brille) dient der eigenen Sicherheit und beugt den genannten Risiken vor.

Nach Umstellung auf das global harmonisierte System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (GHS) werden Zemente gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 wie folgt eingestuft und gekennzeichnet.



Gefahr

- H318 Verursacht schwere Augenschäden.
- H315 Verursacht Hautreizungen.
- H335 Kann die Atemwege reizen.
- P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz tragen.
- P305+P351+
P338+P310 BEI BERÜHRUNG MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen. Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.
- P302+P352+
P333+P313 BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen. Bei Hautreizung oder -ausschlag: Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P261+P304+
P340+P312 Einatmen von Staub vermeiden. BEI EINATMEN: Die betroffene Person an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, in der sie leicht atmet. Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.

Ist das Produkt für jedermann erhältlich, zusätzlich:

- P102 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
- P501 Inhalt/Behälter zu geeigneten Abfallsammelpunkten bringen.

Nach Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) dürfen Zemente oder zementhaltige Zubereitungen mit einem Gehalt an wasserlöslichem Chrom VI von mehr als 2 ppm nur noch in Verkehr gebracht werden, wenn ausgeschlossen werden kann, dass sie in direktem Hautkontakt bei Menschen gelangen. Diese Zemente müssen dann zusätzlich mit R 43¹⁾ bzw. H317²⁾ gekennzeichnet werden.

¹⁾ Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.

²⁾ Kann allergische Hautreaktionen verursachen.

Gemäß Verordnung (EU) 2017/542 müssen alle Produkte, die gesundheitsschädliche Stoffe enthalten und an Verbraucher in der EU verkauft werden, einen UFI-Code tragen. UFI steht für Unique Formula Identifier (eindeutiger Rezepturidentifikator) und verknüpft ein Produkt mit Informationen über die Inhaltsstoffe und Toxizität dieses Produkts, die an die europäischen Giftnotrufzentralen übermittelt wurden. Da im Notfall der erste Ansprechpartner in den meisten Fällen entweder die Giftnotrufzentrale oder der ärztliche Notdienst ist, erleichtert er es dem Mitarbeiter in der Giftnotrufzentrale, die betroffene Person oder den Arzt schnell über die richtige Behandlung zu informieren. Der sechszehnstellige Code befindet sich auf dem Sicherheitsdatenblatt, dem Etikett sowie dem Lieferschein des jeweiligen Produktes und ist auch der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 1.9: UFI Codes der Zementarten für Dyckerhoff Produkte

Produktart	UFI-Code
CEM I	5S10-Y05U-900A-XNYN
CEM II/A-S CEM II/B-S	4V10-F0V7-K00U-M0JS
CEM II/B-P	J120-G081-600T-XPR1
CEM II/A-LL	E920-00A7-4009-XQGG
CEM II/B-M (S-LL) CEM II/C-M (S-LL)	VD20-H00M-E00T-K22M
CEM II/B-M (V-LL)	HR20-H0S6-N00S-7EE4
CEM III/A CEM III/B	4V10-F0V7-K00U-M0JS
CEM IV/B (P)	J120-G081-600T-XPR1
CEM V/A (S-P)	1J20-H0DE-100S-WR7V
MC 5 MC 12,5	2A30-20KY-T007-VTH3
HRB E 4	1E30-K09D-300R-H537

1.6 Dyckerhoff-Zemente

Tabelle 1.10: Dyckerhoff Normalzemente nach DIN EN 197-1/DIN 1164

Produkt	Normbezeichnung/Zementart	Eigenschaften	Anwendungsbereich
PZ Doppel	CEM I 42,5 R Portlandzement	hohe Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 ab C30/37, Transportbeton, Betonwaren und -erzeugnisse, Betonfertigteile, Spannbeton, Betonieren bei kühler Witterung, Einpressmörtel
PZ Dreifach	CEM I 52,5 N/R Portlandzement	sehr hohe Hydratationswärme, sehr hohe Frühfestigkeit, geringe Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 ab C40/50, Betonwaren und -erzeugnisse, Betonfertigteile, frühhoCHFester Beton
COMFORT® Doppel	CEM II/A-S 42,5 R Portlandhüttenzement	hohe Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, gute Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C55/67, Beton nach ZTV-ING, Betonfertigteile, Betonwaren, Transportbeton, frühhoCHFester Beton, Mörtel
COMFORT® Dreifach	CEM II/A-S 52,5 N/R Portlandhüttenzement	hohe Hydratationswärme, sehr hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C55/67, Betonwaren und -erzeugnisse, Betonfertigteile, frühhoCHFester Beton, Spannbeton, Betonieren bei kühler Witterung
PKZ Normal	CEM II/A-LL 32,5 R Portlandkalksteinzement	normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C30/37, Transportbeton
PKZ Doppel	CEM II/A-LL 42,5 N Portlandkalksteinzement	normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C55/67, Beton nach ZTV-ING, Straßenbau, Estrich, Mörtel, Sichtbeton
PKZ Doppel	CEM II/A-LL 42,5 R Portlandkalksteinzement	normale Hydratationswärme, gute Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C55/67, Beton nach ZTV-ING, Straßenbau, Estrich, Mörtel, Sichtbeton, Spannbeton
EPZ Doppel	CEM II/B-S 42,5 N Portlandkomposit-Zement	normale Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C55/67, Beton nach ZTV-ING, Straßenbau, Estrich, Mörtel, Sichtbeton

Produkt	Normbezeichnung/Zementart	Eigenschaften	Anwendungsbereich
TrZ Doppel	CEM II/B-P 42,5 N Portlandpuzzolan- zement	geringe Hydratations- wärme, langsame Festigkeitsentwick- lung, normale Nacher- härtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C25/30 (außer XF2, XC4), Transportbeton, Leichtbeton, Mörtel, Mauersteine
HOZ Normal	CEM III/A 32,5 N-LH (na) Hochofenzement	geringe Hydratations- wärme, langsame Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C30/37, Transportbeton, Beton für massige Bauteile
HOZ Doppel	CEM III/A 42,5 N-LH (na) Hochofenzement	normale/geringe Hydratations- wärme, normale Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C55/67, Transportbeton, Betonwaren
HOZ Doppel	CEM III/A 42,5 N-LH/SR (na) Hochofenzement	normale/geringe Hydratations- wärme, normale Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C55/67, Transportbeton, Beton- waren, Beton bei Angriff sulfat- haltiger Wässer und Böden
HOZ Dreifach	CEM III/A 52,5 L-LH/LA Hochofenzement	geringe Hydratations- wärme, normale Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	
AQUADUR® Doppel	CEM III/B 42,5 N-LH/SR (na) Hochofenzement	sehr geringe Hydratations- wärme, langsame Festigkeits- entwicklung, sehr gute Nacherhärtung, hoher Sulfatwiderstand, nied- riger wirksamer Alkali- gehalt	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C55/67, Transportbeton, Beton für massige Bauteile, Beton bei Angriff sulfathaltiger Wässer und Böden, Beton mit alkaliempfind- licher Gesteinskörnung nach Alkali- richtlinie des DAfStb, Kläranlagen
ECODUR® Doppel	CEM III/A 42,5 N-LH/SR (na) Hochofenzement		

Produkt	Normbezeichnung/Zementart	Eigenschaften	Anwendungsbereich
Portlandkompositzemente mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung			
MZ-S Doppel	CEM II/B-M (S-LL) 42,5 R	hohe Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, erhöhte Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 ab C30/37, Transportbeton, Betonwaren und -erzeugnisse, Betonfertigteile, Rohre, Schächte (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung)
MZ-V Doppel	CEM II/B-M (V-LL) 42,5 R		
MZ-V Normal	CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R	normale Hydratationswärme, normale Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	
CEDUR Doppel	CEM II/C-M (S-LL) 42,5	geringe Hydratationswärme, normale Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	Beton nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C30/37, Transportbeton (außer XF2-XF4)
Spezialzemente (DIN EN 197-1)			
WEISS-FACE	CEM I 42,5 R (dw) Portlandzement	normale Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	weißer und farbiger Beton nach EN 206-1/1045-2 im Bereich Betonfertigteile/Betonelemente
WEISS-DECOR			Herstellung von weißen und farbigen Edelputzen und Mörteln
WEISS-CONTACT			Herstellung von weißen und farbigen Feinmörteln
WEISS-SPEED			für den Bereich Spezialbauchemie
WEISS-STRONG N	CEM I 52,5 N Portlandzement	hohe Hydratationswärme, normale Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Herstellung von weißen und farbigen Betonwaren und Betonwerkstein sowie für den Bereich Bauchemie
WEISS-STRONG R	CEM I 52,5 R Portlandzement	hohe Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Herstellung von weißen und farbigen Betonfertigteile und Betonwerkstein sowie für den Bereich Bauchemie
PZ Doppel SD	CEM I 42,5 N (sd) Portlandzement	hohe Hydratationswärme, hohe Früh- und Endfestigkeit, normale Nacherhärtung	Fahrbahndecken und Verkehrsflächen aus Beton nach TL Beton
PZ Dreifach SB	CEM I 52,5 R (sb) Portlandzement	hohe Hydratationswärme, hohe Früh- und Endfestigkeit, schnelles Erstarren	Spritzbeton für Tunnelbau und Hangsicherungen, besondere Eignung für alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger BE

Tabelle 1.11: Genormte und zugelassene Dyckerhoff Zemente für besondere Anwendungen

Produkt	Normbezeichnung/Zementart	Eigenschaften	Anwendungsbereich
Hydraulische Tragschichtbinder (EN 13282-1)			
Tragschichtbinder	HRB E4	niedrige Hydratationswärme, moderate Festigkeitsentwicklung, gute Nacherhärtung	Herstellung von hydraulisch gebundenen Tragschichten im Verkehrswegebau
Premium-Zemente (DIN EN 197-1) und Bindemittel			
SULFADUR® Doppel	CEM I 42,5 R-SR 0 (na)	hoher Sulfatwiderstand, normale Hydratationswärme, hohe Frühfestigkeit, normale Nacherhärtung	Betone nach EN 206-1/DIN 1045-2 bis C55/67, Transportbeton, Beton-erzeugnisse, Rohre, Beton bei Angriff sulfathaltiger Wässer und Böden
VARIODUR®	CEM III/A 52,5 N-SR/LA bzw. CEM III/A 52,5 R	erhöhter Widerstand gegen chemischen Angriff, UHFB bei hoher Endfestigkeit	Betone bis C130/145, Transportbeton, Betonerzeugnisse, Rohre, Beton bei chemischem Angriff, UHFB
Buzzi Unicem NEXT BASE	Schnellzement auf Basis CSA (Calciumsulfosaluminat-Klinker)	sehr schnelle Frühfestigkeitsentwicklung, sulfatbeständig, geringes Schwinden, schnelles Erstarren	Vergütung von Putz, Mörtel, Fließestrich, Betonerzeugnissen
FLOWSTONE weiss/grau	HPC Bindemittel	fließfähige selbstverdichtende Hochleistungsbetone	Herstellung von Betonwaren und Betonwerksteinen
NANODUR® Compound 5941	UHPC Bindemittel	59 % NANODUR® und 41 % Quarzfeinsand	Herstellung von UHPC mit üblicher Gesteinskörnung im Zwangsmischer

Tabelle 1.12: Spezialbindemittel

Produkt	Normbezeichnung/Zementart	Eigenschaften	Anwendungsbereich
Feinstzemente			
MIKRODUR®	Feinstbindemittel	besondere Feinheit und Granulometrie, vgl. Kapitel 10	hochfließfähige Suspensionen für Niederdruckinjektionen in der Geotechnik und Bauwerksinstandsetzung
UHPC Additive	CEM III/C 52,5 N	vgl. Kapitel 7.8.3	alternativ zu Silikatstaub
Tiefbohrzemente (API Specification 10A)			
Class C, G, K, L	API Spec 10A	gut verzöger- und dispergierbar vgl. Kapitel 10	Zementationen von Tiefbohrungen, in Verbindung mit Additiven

1.7 Premium-Zemente und Bindemittel

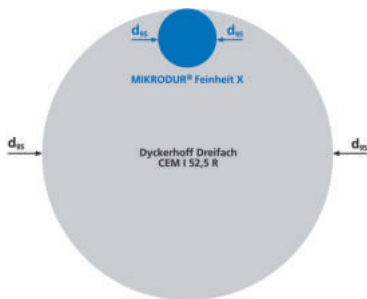
MIKRODUR® – Technologie Leistungssteigerung durch ultrafeine Zementbestandteile

Dyckerhoff Premium-Zemente entstehen durch gezielten granulometrischen Aufbau aus ultrafeinen Zement- und/oder Hüttensandmehlparkeln in Kombination mit besonders geeigneten Normzementen. Technologischer Ausgangspunkt ist die seit Jahren bewährte Produktlinie MIKRODUR®, die bislang überwiegend als Bindemittel für Injektionen in Geotechnik und Betoninstandsetzung Verwendung fand.

Dyckerhoff Premium-Zemente mit MIKRODUR® Technologie sind

- Spezialprodukte mit individueller Einstellbarkeit der Eigenschaften,
- normgerecht durch ausschließliche Verwendung von genormten Zementbestandteilen,
- unempfindlich, da ohne Zusatzmittel/-stoffe,
- wie normale Zemente zu verarbeiten.

Die Nutzung der MIKRODUR® Technologie zur Herstellung von Spezialzementen konnte zwischenzeitlich mehrfach in Labor und Praxis überzeugen. In einem einzigartigen Herstellprozess werden aus getrennter Sichtung feinste Portlandzementklinker- und Hüttenmehlkomponenten definierter Feinheiten gewonnen. Aktuell sind mittlere Korngrößen bis hinunter zu $2\ \mu\text{m}$ (= 2 tausendstel Millimeter) darstellbar. Die Feinheit wird dabei nicht in der üblichen Weise nach Blaine charakterisiert, sondern durch den mittels Lasergranulometrie gemessenen d_{95} -Wert (95 % < als ...) gekennzeichnet. Übliche Feinheiten sind $< 16\ \mu\text{m}$ (Typ F), $< 9,5\ \mu\text{m}$ (Typ U) und $< 6\ \mu\text{m}$ (Typ X). Durch gezielten Einbau dieser kornabgestuften Feinstkomponenten in bewährte Normzemente lassen sich variabel besondere Eigenschaften einstellen wie z.B. hohe Endfestigkeit, schnelle Festigkeitsentwicklung und Widerstand gegen sauren Angriff.



Durch ausschließliche Verwendung genormter Zementbestandteile bewahren die neuen Premium-Zemente als Spezialprodukte dennoch ihren Normcharakter und können damit ohne aufwändiges Zulassungsverfahren sofort eingesetzt werden. Gegenüber konventioneller Aussteuerung besonderer Eigenschaften durch Zusatzmittel und/oder -stoffe sind bei dieser neuen Zementkonzeption keine Probleme durch Unverträglichkeiten bzw. Rohstoffschwankungen zu erwarten.

Die Dyckerhoff Premium-Zemente mit MIKRODUR® Technologie führen zu

- leistungsfähiger Betontechnologie,
- höherwertiger Qualität der Betonzeugnisse,
- neuen Marktchancen durch individuelles Eigenschaftsbild,
- neuen Märkten durch Substitution anderer Werkstoffe.



Dyckerhoff VARIODUR® CEM II/B-S 52,5 R, CEM III/A 52,5 R und CEM III/A 52,5 N-SR/LA

für hochfeste (Massen-) Betone mit hohem Widerstand gegen aggressive Medien und Verschleiß.

Premium-Zemente mit mittlerem und hohem Anteil feiner Hütten-sandmehle. Widerstand gegen chemischen Angriff wird hier mit schneller Festigkeitsentwicklung kombiniert. Gezielt einstellbar empfiehlt sich VARIODUR für alle Anwendungen in Betonen, die durch aggressive Medien beansprucht werden. Darüber hinaus hat sich Variodur durch seine moderate Hydratationswärmeentwicklung in hochfestem Massenbeton sowie in UHFB ohne Silikastaub bewährt.

<https://www.dyckerhoff.com/variodur>

Dyckerhoff NANODUR® Compound 5941

für UHPC Ultra High Performance Concrete ohne Silikastaub.

Premium-Zement der neuesten Generation, bei dem die Mikrodur Technologie durch Einsatz nanostrukturierter synthetischer Kieselsäuren weiter entwickelt wurde. Nanodur Compound 5941 ist eine Bindemittelvormischung mit Quarzfeinsand, die bei extrem niedrigen Wasser/Zement Werten ausschließlich für die Herstellung von ultra high performance concrete UHPC ohne Silikastaub konzipiert wurde.

<https://www.dyckerhoff.com/nanodur>



NEXT BASE CSA Zement

Buzzi Unicem Next base ist ein hydraulisches Bindemittel auf Basis von Calciumsulfoaluminat-Klinker, der aus einer Mischung von Bauxit, Gips und Kalk bei einer Temperatur von ca. 1350 °C gebrannt und dem anschließend Anhydrit zugemahlen wird. Next base kann allein als schnell erhärtendes Bindemittel oder in Kombination mit Zementen nach DIN EN 197-1 bzw. DIN 1164-10 verwendet werden. Damit können Produkte mit geringer Schwindung und schneller Festigkeitsentwicklung hergestellt werden. Next base ermöglicht es, Mörtel und Betone mit einem breiten Leistungsspektrum zu entwickeln und ist mit bekannten Zusätzen zur Regelung der Abbindezeit, Verflüssigung, Viskosität, Schwindkompensation, Beschleunigung, Verzögerung usw. kompatibel.

<https://www.dyckerhoff.com/next-base>





Dyckerhoff XPOSAL 105
für Brückenbelag aus hochfestem Beton

Waalbrücke, Ewijk
www.dyckerhoff.com

 **Dyckerhoff**

2 Gesteinskörnung für Beton und Mörtel

Unter Gesteinskörnung versteht man körniges Material für die Herstellung von Beton und Mörtel. Gesteinskörnungen werden entsprechend Herkunft, Kornrohichte und Gefüge eingeteilt. Sie können natürlich, industriell hergestellt oder recycelt sein. Nach der Kornrohichte wird unterschieden in leichte, normale (Kornrohichte 2.000 bis 3.000 kg/m³) und schwere Gesteinskörnung.

2.1 Begriffe und Definitionen

Tabelle 2.1: Geltende Normen und Richtlinien für Gesteinskörnungen

Norm/Richtlinie	Inhalt
Normale Gesteinskörnung (Rohdichte 2.000 bis 3.000 kg/m³)	
DIN EN 12620	Gesteinskörnungen für Beton
DAfStb-Richtlinie	Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton
Leichte Gesteinskörnung (Rohdichte < 2.000 kg/m³)	
DIN 13055	Leichte Gesteinskörnungen für Beton
Rezyklierte Gesteinskörnung (Rohdichte > 2.000 kg/m³)	
DIN 4226-101, -102	Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton
DAfStb-Richtlinie	Beton nach DIN EN 206 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620
Gesteinskörnung für Mörtel	
DIN EN 13139	Gesteinskörnungen für Mörtel
Gesteinskörnung für die Anwendung im Straßenbau	
TL Gestein-StB	Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnung im Straßenbau
ZTV Beton-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton

Tabelle 2.2: Einteilung von Gesteinskörnungen

Einteilung nach	Gesteinskörnung	Definition/Anforderung
Herkunft	natürlich	<ul style="list-style-type: none"> – natürliches mineralisches Vorkommen – ausschließlich mechanische Aufbereitung
	industriell hergestellt	<ul style="list-style-type: none"> – mineralischer Ursprung – industriell hergestellt (thermischer o. a. Prozess)
	rezykliert	<ul style="list-style-type: none"> – aufbereitetes anorganisches Material aus Altbaustoff – Sammelbegriff für rezyklierten Splitt und rezyklierten Brechsand
Kornform	Kies	– natürlich gerundetes Material
	Splitt	– gebrochenes Material
Rohdichte	normal	<ul style="list-style-type: none"> – Kornrohddichte > 2000 kg/m³ – mineralischer Ursprung
	schwer	<ul style="list-style-type: none"> – Kornrohddichte > 3000 kg/m³ – mineralischer Ursprung
	leicht	<ul style="list-style-type: none"> – Kornrohddichte < 2000 kg/m³ oder Schüttdichte < 1200 kg/m³ – mineralischer Ursprung
Feinheit	grob	– $D > 4 \text{ mm}$ und $d > 2 \text{ mm}$
	fein	– $D < 4 \text{ mm}$ (Sand)
	Feinanteil	– Gesteinsanteil < 0,063 mm
	Füller (Gesteinsmehl)	– überwiegender Teil < 0,063 mm

Kornzusammensetzung

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

Korngemisch

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

Korngruppe (Lieferkörnung)

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

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

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

2.2 Normale und schwere Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620

Diese Norm legt Anforderungen an normale (Korndichte 2,0–3,0 kg/dm³) und schwere (Korndichte $> 3,0$ kg/dm³), natürliche und industriell hergestellte Gesteinskörnungen und Mischungen daraus für die Verwendung in Beton und Mörtel fest. Eingeschlossen sind Gesteinskörnungen für alle Betonarten, einschließlich Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 und Beton zur Verwendung in Straßen und anderen Verkehrsflächen und für die Verwendung in Betonfertigteilen und Betonwaren.

Tabelle 2.3: Bezeichnung der Gesteinskörnung und Beispiele

Bezeichnung	Definition		Beispiel
Feine Gesteinskörnung	$D \leq 4 \text{ mm}$ und $d = 0$		0/1 0/2 0/4
Grobe Gesteinskörnung	$D \geq 4 \text{ mm}$ $d \geq 2 \text{ mm}$	eng gestuft $D/d \leq 2$ oder $D \leq 11,2 \text{ mm}$	2/8 4/8 8/16 16/32
		weit gestuft $D/d > 2$ und $D > 11,2 \text{ mm}$	4/32 8/22
Korngemisch	$D \leq 45 \text{ mm}$ und $d = 0$		0/22 0/32

Tabelle 2.3 definiert feine und grobe Gesteinskörnung und das Korngemisch und gibt Beispiele. Dabei ist D die Siebweite des oberen Begrenzungssiebs, d des unteren Begrenzungssiebs der Korngruppe [mm].

Tabelle 2.4: Rohdichte, Wasseraufnahme und Druckfestigkeit von normaler Gesteinskörnung, Rohdichte von schwerer Gesteinskörnung

Gesteinsart	Rohdichte [kg/dm ³]	Wasseraufnahme nach DIN EN 1097-6:2013 [M.-%]	Druckfestigkeit [N/mm ²]
Granit	2,60–2,80	0,2– 0,5	160–240
Diorit, Gabbro	2,80–3,00	0,2– 0,4	170–300
Quarzporphyr	2,55–2,80	0,2– 0,7	180–300
Basalt	2,90–3,05	0,1– 0,3	250–400
Quarzit, Grauwacke	2,60–2,65	0,2– 0,5	150–300
Quarzitischer Sandstein	2,60–2,65	0,2– 0,5	120–200
sonstiger Sandstein	2,00–2,65	0,2– 9,0	30–180
dichte Kalksteine	2,65–2,85	0,1– 0,6	80–180
sonstige Kalksteine	1,70–2,60	0,2–10,0	20– 90
Hochofenschlacke	2,50–2,90	0,4– 5,0	80–240
Baryt	4,00–4,30		
Magnetit	4,60–4,80		
Hämatit	4,70–4,90		

Gesteinskörnungen, die nur unter Bezug auf DIN EN 12620, ohne weitere Angabe, bestellt bzw. geliefert werden, müssen mindestens den Regelanforderungen entsprechen, siehe Tabelle 2.5 und Tabelle 2.6, letzte Spalte sowie Abbildung 2.1 a.

Tabelle 2.5: Anforderungen an die Kornzusammensetzung von feinen und groben Gesteinskörnungen

Korn- gruppe	Kategorien		Absolut-Grenzwerte in % (Massenanteile) für den Siebdurchgang durch die Prüfsiebe												
	G_D	f	0,063	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	45	63	
0/2	$G_{D\ 85}$	f_3	3		85-99	100									
0/4	$G_{D\ 85}$	f_3	3			85-99	95-100	100							
2/4	$G_{D\ 85}$	$f_{1,5}$	1,5	0-5	0-20	85-99	98-99	100							
2/8	$G_{D\ 85}$	$f_{1,5}$	1,5	0-5	0-20			85-99	98-100	100					
4/8	$G_{D\ 85}$	$f_{1,5}$	1,5		0-5	0-20		85-99	98-100	100					
8/16	$G_{D\ 85}$	$f_{1,5}$	1,5			0-5		0-20		85-99	98-100	100			
16/32	$G_{D\ 85}$	$f_{1,5}$	1,5					0-5		0-20		85-99	98-100	100	
								0-5		0-20		85-99	98-100	100	

G_D = Mindestdurchgang durch das obere Begrenzungssieb

f = Gehalt an Feinanteilen $\leq 0,063$ mm

Tabelle 2.6: Anforderungen an die Gesteinskörnung (Auswahl)¹⁾

Eigenschaft	Anforderung (Kategorie)	Regelanforderung	
Kornform von groben Gesteinskörnungen	Plattigkeitskennzahl: Anteil ungünstig geformter Körner (Prüfung mittels Stabsieben) ≤ 15 M.-% ($F_{1,5}$), ≤ 20 M.-% ($F_{2,0}$), ≤ 35 M.-% ($F_{3,5}$), ≤ 50 M.-% ($F_{5,0}$), keine Anforderungen (F_{NR})	F_{1,5}	
Höchstwerte für den Gehalt an Feinanteilen	max. Durchgang durch das 0,063-mm-Sieb		
	grobe Gesteinskörnung	$\leq 1,5$ M.-% ($f_{1,5}$), ≤ 4 M.-% (f_4), > 4 M.-% ($f_{\text{angegeben}}$) keine Anforderungen (f_{NR})	f_{1,5}
	Korngemisch	≤ 3 M.-% (f_3), ≤ 11 M.-% (f_{11}), > 11 M.-% ($f_{\text{angegeben}}$) keine Anforderungen (f_{NR})	f₃
	feine Gesteinskörnung (Sand)	≤ 3 M.-% (f_3), ≤ 10 M.-% (f_{10}), ≤ 16 M.-% (f_{16}), ≤ 22 M.-% (f_{22}), > 22 M.-% ($f_{\text{angegeben}}$) keine Anforderungen (f_{NR})	f₃
Frostwiderstand	Frostwiderstand (Masseverlust nach 10 FTW in Wasser) ≤ 1 M.-% (F_1), ≤ 2 M.-% (F_2), ≤ 4 M.-% (F_4), keine Anforderungen (F_{NR})	F₄	
Frost-Tausalz-Widerstand	Magnesium-Sulfat-Wert (Masseverlust nach fünfmaligem Eintauchen in gesättigte Magnesiumsulfatlösung) ²⁾ ≤ 18 M.-% (MS_{18}), ≤ 25 M.-% (MS_{25}), ≤ 35 M.-% (MS_{35}), keine Anforderungen (MS_{NR})	MS_{NR}	
Chloridgehalt	Anteil wasserlöslicher Chlorid-Ionen (Cl^-) $\leq 0,02$ M.-% ($Cl_{0,02}$) ³⁾ , $\leq 0,04$ M.-% ($Cl_{0,04}$), $\leq 0,15$ M.-% ($Cl_{0,15}$)	Cl_{0,04}	
leichtgewichtige organische Verunreinigungen	Anteil leichtgewichtiger organischer Verunreinigungen		
	feine Gesteinskörnungen (Sand)	$\leq 0,50$ M.-% ($Q_{0,50}$), $\leq 0,25$ M.-% ($Q_{0,25}$)	Q_{0,50}
	grobe Gesteinskörnung und Korngemische	$\leq 0,10$ M.-% ($Q_{0,10}$), $\leq 0,05$ M.-% ($Q_{0,05}$)	Q_{0,10}
AKR-Empfindlichkeit	Siehe Alkali-Richtlinie des DAfStb (siehe Abschnitt 2.5)		

¹⁾ Weiterhin existieren Anforderungen an die Kornformkennzahl ($S_{1,5}$), Kornzusammensetzung, Über-/Unterkorn, Muschelschalengehalt grober Gesteinskörnungen (≤ 10 M.-%), Festigkeit (LA_{50} oder SZ_{32}), Raumbeständigkeit, schwefelhaltige Bestandteile ($AS_{0,8}$) sowie an die Widerstände gegen Zertrümmerung (LA_{NR} , SZ_{NR}), Verschleiß von groben Gesteinskörnungen ($M_{DE, NR}$), Polieren (PSV_{NR}) und Abrieb (AAV_{NR}). Hier in Klammern Kurzform der Kategorie mit Angabe der entsprechenden Regelanforderung.

²⁾ Alternativ kann eine Prüfung in 1%-iger NaCl-Lösung nach DIN 1367-1 vereinbart werden (Grenzwert 8 M.-% Absplitterung für MS_{18} – MS_{35}); wenn Absplitterung > 8 % sollte die Frost-Tausalz-Widerstandsfähigkeit im Betonversuch an einem standardisierten Luftporenbeton nach DIN V 18004, nachgewiesen werden.

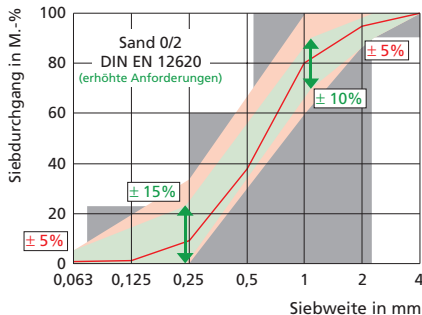
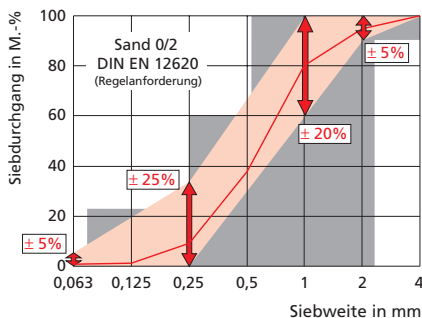
³⁾ Für Spannbeton erforderlich.

Anforderung an die Kornzusammensetzung

Korngruppen müssen ihrer Bezeichnung entsprechende Kornzusammensetzung aufweisen, z. B. muss eine Korngruppe 16/32 auch einen Anteil von Körnern mit 32 mm Durchmesser aufweisen.

Bei Sand (feine Gesteinskörnung) muss der Hersteller seine mittlere „typische“ Sieblinie (Kornzusammensetzung) aufzeichnen und dem Abnehmer auf Anfrage angeben. Er muss sie mit einer vorgegebenen Toleranz einhalten (Beispiele in den Abbildungen 2.1 a + b). Absolutanforderungen an die Kornzusammensetzung gibt es nicht mehr.

Abb. 2.1 a + b: Beispiel für zulässige Toleranzen (a) bzw. reduzierte Toleranzen (b) für eine vom Lieferanten angegebene typische Kornzusammensetzung von Sand 0/2 mm



2.3 Leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055

Die Norm legt Eigenschaften und technische Anforderungen von leichten Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel fest. Sie gilt für unterschiedliche Arten von leichten Gesteinskörnungen mineralischen Ursprungs mit Korndichte bis $2,00 \text{ kg/dm}^3$.

Tabelle 2.7: Übersicht über die wichtigsten leichten Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055

Stoffgruppe	Kornroh- dichte [kg/dm^3]	Schüttdichte (lose ein- gefüllt) [kg/dm^3]	Dichte (Reindichte) [kg/dm^3]	Kornfestig- keit
Leichte Gesteinskörnung für Beton				
Naturbims	0,4–0,7	0,3–0,5	rd. 2,5	niedrig
Schaumlava	0,7–1,5	0,5–1,3	rd. 3,0	mittel
Hüttenbims	0,5–1,5	0,4–1,3	2,9–3,0	niedrig–mittel
Sinterbims	0,5–1,8	0,4–1,4	2,6–3,0	niedrig–mittel
Ziegelsplitt	1,2–1,8	1,0–1,5	2,5–2,8	mittel
Blähton, Blähschiefer	0,4–2,0	0,3–1,5	2,5–2,7	niedrig bis mittel
hochwärmedämmende, anorganische Gesteinskörnung				
Blähperlit	0,1–0,2	0,1–0,2	2,3–2,5	sehr niedrig
Blähglimmer	0,1–0,3	0,1–0,3	2,5–2,7	sehr niedrig
Schaumsand, Schaumkies	0,1–0,3	0,1–0,3	2,5–2,7	sehr niedrig

Für die Herstellung von gefügedichtem Leichtbeton wird nach DIN 1045-2 als leichte Gesteinskörnung Blähton und Blähschiefer nach DIN EN 13055 verwendet.

Anforderungen an leichte Gesteinskörnungen

Raubeständigkeit: Masseverlust	$\leq 0,5 \text{ M.-%}$
Gesamt-Schwefel:	$\leq 1,0 \text{ M.-%}$
Glühverlust:	$\leq 5,0 \text{ M.-%}$

Tabelle 2.8: Regelanforderungen

Feinanteile (max. Siebedurchgang durch das 0,063-mm-Sieb)	
feine Gesteinskörnung	$\leq 3 \text{ M.-% (f}_3\text{)}$
Korngemisch	$\leq 3 \text{ M.-% (f}_3\text{)}$
Grobe Gesteinskörnung	$\leq 1,5 \text{ M.-% (f}_{1,5}\text{)}$
Chloride (Stahlbeton)	$\leq 0,04 \text{ M.-% (Cl}_{0,04}\text{)}$
(Spannbeton)	$\leq 0,02 \text{ M.-% (Cl}_{0,02}\text{)}$
Säurelösliches Sulfat	$\leq 0,8 \text{ M.-% (AS}_{0,8}\text{)}$

Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand

Für Expositionsklassen XF1 bis XF4:

XF1: Masseverlust nach DIN EN 13055, Anhang C: $\leq 4 \text{ M.-%}$ oder Nachweis am Beton

XF3: Masseverlust nach DIN EN 13055, Anhang C: $\leq 2 \text{ M.-%}$ oder Nachweis am Beton

XF2 bzw. XF4: Masseverlust nach DIN EN 18004, Abschnitt 4: $\leq 500 \text{ g/m}^2$

Alkali-Empfindlichkeit

Bei Verdacht auf Empfindlichkeit einer leichten Gesteinskörnung auf Alkalien sind je nach Exposition Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Dabei muss die Alkali-Richtlinie des DAfStb (siehe Abschn. 2.5) mit herangezogen werden.

2.4 Rezyklierte Gesteinskörnungen

2.4.1 Rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-101, -102

Rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-101, -102 bestehen aus aufbereitetem anorganischem Material, welches zuvor als Baustoff eingesetzt war und ist ein Sammelbegriff für rezyklierten Splitt und rezyklierten Brechsand.

Es werden vier Liefertypen entsprechend der stofflichen Zusammensetzung nach Tabelle 2.9 unterschieden:

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

Tabelle 2.9: Stoffliche Zusammensetzung der Liefertypen

Bestandteile ^{a)}	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
	für Beton nach DIN 1045- 2:2008-08		für Beton außerhalb DIN 1045- 2:2008-08	
Rc + Ru	Rcu ₉₀	Rcu ₇₀	Rcu ₂₀ ^{c)}	Rcu + Rb ₈₀ ^{c)}
Rb	Rb ₁₀	Rb ₃₀	Rb ₈₀ ^{b)}	
Ra	Ra ₁	Ra ₁	Ra ₁	Ra ₂₀
X + Rg	X Rg ₁	X Rg ₂	X Rg ₂	X Rg ₂
FL ^{d)}	FL ₂	FL ₂	FL ₂	FL ₅

a) Dabei bedeuten:

Rc = Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton

Ru = ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch gebundene Gesteinskörnung

Rb = Ziegelmauersteine (nicht porosiert), Klinker, Steinzeug, Kalksandstein-Mauersteine, verschiedene Mauer- und Dachziegel, Bimsbeton, nicht schwimmender Porenbeton

Ra = Bitumenhaltige Materialien, Asphalt

Rg = Glas

X = sonstige Materialien: Bindige Materialien (Ton, Bodenmaterial), verschiedene sonstige Materialien: Metalle (Eisen und Nichteisenmetalle), nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips

FL = Schwimmendes Material im Volumen

b) Der Anteil von Kalkstein ist auf max. 5 M.-% begrenzt, Rb darf dann 85 M.-% betragen.

c) Als Kategorie „angeben“.

d) Wenn besondere Oberflächeneigenschaften des Betons erforderlich sind, kann die Vereinbarung niedriger Gehalte an aufschwimmenden Bestandteilen angezeigt sein (siehe DIN EN 12620:2008-07).

2.4.2 Rezyklierte Gesteinskörnungen nach DAfStb-Richtlinie

Diese Richtlinie gilt für die sortenreine Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen der Typen 1 (Betonspplitt) und 2 (Bauwerksplitt) nach Tabelle 2.10-1. Rezyklierte Gesteinskörnung, die aus der Produktion des Herstellers stammen, wobei der Beton ohne vorherigen Gebrauch wieder aufbereitet worden ist, dürfen bis zu einem Anteil von 5 M.-% bezogen auf die Gesamtmenge der Gesteinskörnung ohne Einschränkung verwendet werden.

Die DAfStb-Richtlinie „Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung“ regelt die Anwendung im Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Sie beinhaltet gewisse Anwendungsbeschränkungen, u.a. nach verwendbaren Mengen in Abhängigkeit der Expositionsclassen des Betons. Rezyklierte Gesteinskörnung darf höchstens mit den in Tabelle 2.11 angegebenen Anteilen zugegeben werden.

Tabelle 2.10-1: Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen

Bestandteile ¹⁾	Kategorie der Gesteinskörnung	
	Typ 1	Typ 2
Rc + Ru	Rcu ₉₀	Rcu ₇₀
Rb	Rb ₁₀₋	Rb ₃₀₋
Ra	Ra ₁₋	Ra ₁₋
X + Rg	XRg ₁₋	XRg ₂₋
FL	FL ₂₋	FL ₂₋

Rc: Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton

Ru: Ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch gebundene Gesteinskörnung

Rb: Mauerziegel (d.h. Mauersteine und Ziegel), Kalksandsteine, nicht schwimmender Porenbeton

Ra: Bitumenhaltige Materialien Rg: Glas

X: Sonstige Materialien: Bindige Materialien (Ton und Boden), versch. Sonstige Materialien: Metalle, nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips

FL: Schwimmendes Material im Volumen

Tabelle 2.10-2: Regelanforderungen für rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620

Eigenschaft	Kategorie der Gesteinskörnung	
	Typ 1	Typ 2
Kornzusammensetzung	D/d ≤ 2 oder D ≤ 11,2	G _C 85/20
	Korngemisch	G _A 90
Feinanteil	Grobe Gesteinskörnung	f ₄
Frost-Tau-Widerstand ¹⁾		F ₄
Säurelösliches Chlorid		≤ 0,04 M.-%
Säurelösliches Sulfat		AS _{0,8}
Gesamtschwefel (außer Hochofenstüchschlacke)		≤ 1 M.-%
Organische Verunreinigungen		≤ 0,1 M.-%

¹⁾ Alternativ kann der Frost-Tau-Widerstand rezyklierter Gesteinskörnungen auch mittels Betonprüfung nach Anhang A nachgewiesen werden.

Tabelle 2.10-3: weitere Anforderungen für Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620

Eigenschaft	Anforderung
Frost-Tau-Widerstand ¹⁾	F ₂ für XF3
Chloride ²⁾	Chloridgehalt ≤ 0,15 % Massenanteil für Beton ohne Betonstahlbewehrung oder anderes eingebettetes Metall

- 1) Alternativ kann der Frost-Tau-Widerstand rezyklierter Gesteinskörnungen auch mittels Betonprüfung nach Anhang A nachgewiesen werden.
- 2) Andernfalls ist der Chloridgehalt des Betons nach DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.7 nachzuweisen.

Tabelle 2.11: zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnung > 2 mm, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung

Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
Alkalirichtlinie	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2	Typ 1	Typ 2
WO (trocken)	Karbonatisierung XC1	≤ 45	≤ 35
WF ¹⁾ (feucht)	Kein Karbonatisierungsrisiko X0		
	Karbonatisierung XC1 bis XC4		
	Frostangriff ohne Taumittel-einwirkung XF1 ¹⁾ und XF3 ¹⁾ und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 35	≤ 25
	Chemischer Angriff XA1	≤ 25	≤ 25

¹⁾ Zusätzliche Anforderungen s. Abschnitt 1, (3) und (4) DAFStb-Richtlinie

Alkali-Empfindlichkeit

Bei unbekannter Herkunft (Regelfall) ist rezyklierte Gesteinskörnung aus Beton von Bauwerken aus dem eiszeitlichen Ablagerungsgebiet Norddeutschlands in Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-O einzustufen. Für rezyklierte Gesteinskörnung aus Beton außerhalb dieses Gebietes gilt die Einstufung in Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S, sofern kein Nachweis zur Einstufung in eine andere Alkaliempfindlichkeitsklasse geführt werden kann. Die Alkali-Richtlinie des DAFStb (siehe Abschn. 2.5) muss mit herangezogen werden.

2.5 Gesteinskörnung mit alkalireaktiver Kieselsäure

Einige Gesteinskörnungen für Beton enthalten alkalireaktive Kieselsäure, die mit im Porenwasser des Betons gelöstem Alkalihydroxid zu einem Alkalisilicat reagieren kann. Unter bestimmten Voraussetzungen führt diese Reaktion zu einer Volumenvergrößerung, die zu einer Schädigung des Betons führen kann. Diese Volumenvergrößerung wird als „Alkalitreiben“ und die chemische Reaktion, die dies verursacht, als „Alkali-Kieselsäure-Reaktion“ (AKR) bezeichnet. Ablauf und Ausmaß der Reaktion hängen insbesondere von der Art und Menge der alkaliempfindlichen Bestandteile, ihrer Größe und Verteilung, dem Alkalihydroxidgehalt in der Porenlösung sowie den Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen und der mechanischen Belastung des erhärteten Betons ab. Bei trockenem Beton kommt die Alkali-Kieselsäure-Reaktion zum Stillstand. Durch Alkalizufuhr von außen kann die AKR verstärkt werden. Das Ausmaß der Schäden nimmt zu, wenn alle o.g. Rahmenbedingungen zusammentreffen.

Zur Vermeidung von Schäden hat der DAfStb die Alkali-Richtlinie fortgeschrieben (Aktuelle Ausgabe Oktober 2013). Diese Richtlinie gilt für Beton nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA, DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 und DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3, soweit in dieser Richtlinie nichts anderes festgelegt ist. Sie ist ferner für die Einstufung von Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 in Verbindung mit DIN 1045-2 in eine Alkaliempfindlichkeitsklasse anzuwenden. Die vorbeugenden Maßnahmen gelten für die Feuchtigkeitsklassen WO, WF und WA gemäß DIN 1045-2.

Diese Richtlinie regelt die Prüfung, Einstufung, Überwachung und Zertifizierung von Gesteinskörnungen hinsichtlich ihrer Alkaliempfindlichkeitsklasse und die gegebenenfalls beim Beton zu ergreifenden Maßnahmen.

Diese Richtlinie gilt nicht für wärmebehandelten Beton.

Zusätzlich zu diesen Anwendungen hat der Bundesminister für Verkehr für den von ihm zu verantwortenden Verkehrswegebau durch die TL Beton-Stb 07 sowie das Allgemeine Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 04/2013 ergänzende Regeln festgelegt.

2.5.1 Feuchtigkeitsklassen

Betonbauteile nach DIN EN 1992-1-1/NA und DIN 1045-2 werden je nach zu erwartenden Umwelteinflüssen in 3 Feuchtigkeitsklassen eingeteilt:

Tabelle 2.12: Feuchtigkeitsklassen

Feuchtigkeitsklasse	Abkürzung	Beispiele
trocken	WO	<ul style="list-style-type: none"> – Innenbauteile eines Hochbaus – Bauteile, auf die Außenluft, aber kein Niederschlag, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken und/oder die nicht > 80 % ausgesetzt sind.
feucht	WF	<ul style="list-style-type: none"> – ungeschützte Außenbauteile, – Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, in denen die rel. Luftfeuchte überwiegend > 80 % ist, – Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung, – massige Bauteile, deren kleinstes Maß > 0,50 m ist.
feucht + Alkalizufuhr von außen	WA	<ul style="list-style-type: none"> – Bauteile mit Meerwassereinwirkung, – Bauteile mit Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung, – Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen, – Bauwerken mit Alkalisalzeinwirkung.

Zusätzliche Feuchtigkeitsklasse für den Verkehrswegebau:

feucht + Alkalizufuhr von außen + starke dynamische Beanspruchung	WS	<ul style="list-style-type: none"> – Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z.B. Betonfahrbahnen).
---	----	---

2.5.2 Beurteilung der alkaliempfindlichen Gesteinskörnung

Gesteinskörnungen werden in 3 Risiko-Klassen eingeteilt:

- E I- unbedenklich hinsichtlich Alkalireaktion durch GK, keine vorbeugenden Maßnahmen notwendig
- E II- bedingt brauchbar hinsichtlich Alkalireaktion durch GK, ggf. vorbeugende Maßnahmen notwendig
- E III- bedenklich hinsichtlich Alkalireaktion durch GK, vorbeugende Maßnahmen notwendig

Tabelle 2.13: Alkaliempfindlichkeitsklassen

Klasse ¹⁾	Gesteinskörnungen	Einstufung hinsichtlich AKR
E I-O	Opalsandstein einschließlich Kieselkreide	unbedenklich
E II-O		bedingt brauchbar
E III-O		bedenklich
E I-OF	Opalsandstein einschließlich Kieselkreide und Flint	unbedenklich
E II-OF		bedingt brauchbar
E III-OF		bedenklich
E I-S	<ul style="list-style-type: none"> – gebrochene Grauwacke – gebrochener Quarzporphyr (Rhyolith) – gebrochener Oberrhein-Kies 	unbedenklich
E III-S	<ul style="list-style-type: none"> – rezyklierte Körnungen – Kies mit > 10 M.-% der vorgenannten Körnungen – ungebrochene Gesteinskörnungen > 2 mm aus den Gebieten der Saale, Elbe, Mulde, Elster im angrenzenden Bereich gemäß Teil 2 der Alkali-Richtlinie sowie daraus hergestellte Kiessplitte – andere gebrochene, nicht als unbedenklich eingestufte Gesteinskörnungen²⁾ – andere gebrochene Gesteinskörnungen ohne baupraktische Erfahrungen³⁾ 	bedenklich

¹⁾ Ist keine Klasse angegeben, so ist E III anzunehmen.

²⁾ Unbedenklich E I: Sofern eine Gesteinskörnung nicht aus den Gewinnungsgebieten nach Alkali-Richtlinie, Teil 1, Abschnitt 2 stammt oder keine der in der Richtlinie genannten alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen enthält und es unter baupraktischen Bedingungen zu keiner schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion gekommen

³⁾ Keine baupraktischen Erfahrungen im Geltungsbereich der Alkali-Richtlinie.

Bei den alkaliempfindlichen Bestandteilen handelt es sich um folgende Gesteinsarten, die in der Alkali-Richtlinie behandelt werden:

Opalsandstein (O) einschließlich Kieselkreide und alkalireaktive Flinte (F) aus Norddeutschland. Die Richtlinie unterscheidet zwischen dem „Anwendungsbereich für Opalsandstein und Flint einschl. Kieselkreide“ in den Ländern Schleswig-Holstein, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern und nördliche Teile von Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg, in welchem die Richtlinie angewendet werden muss. Darüber hinaus definiert sie einen „angrenzenden Bereich“, in welchem die Überwachungsstellen besonders sorgfältig auf alkaliempfindliche Anteile achten müssen, vgl. Tabellen 2.14 a–b.

Gebrochene alkaliempfindliche Gesteinkörnungen z.B. Grauwacken und andere alkaliempfindliche gebrochene Gesteinkörnungen, die zu Schadensreaktionen führen können (S): Gebrochener Grauwacke, gebrochenem Quarzporphyr (Rhyolith); gebrochener Oberrhein-Kies, rezyklierte Körnungen, Kies mit > 10 M-% der vorgenannten Körnungen und andere gebrochene, nicht als unbedenklich eingestufte Gesteinkörnungen z.B. ohne baupraktische Erfahrung, vgl. Tabelle 2.16 c.

Tabellen 2.14 a–c: Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnung nach DAfStb Alkali-Richtlinie

a – mit Opalsandstein einschl. Kieselkreide

Bestandteile	Grenzwerte in M.-% für die Alkaliempfindlichkeitsklassen		
	E I-O	E II-O	E III-O
Opalsandstein einschließlich Kieselkreide (über 1 mm) ¹⁾	≤ 0,5	≤ 2,0	> 2,0
¹⁾ In den Prüfkornklassen 1 bis 4 mm einschließlich reaktionsfähigem Flint			

b – mit Opalsandstein einschl. Kieselkreide und Flint

Bestandteile	Grenzwerte in M.-% für die Alkaliempfindlichkeitsklassen		
	E I-OF	E II-OF	E III-OF
Opalsandstein einschließlich Kieselkreide (über 1 mm) ¹⁾	≤ 0,5	≤ 2,0	> 2,0
reaktionsfähiger Flint (über 4 mm)	≤ 3,0	≤ 10,0	> 10,0
5 x Opalsandstein einschließlich Kieselkreide + reaktionsfähiger Flint	≤ 4,0	≤ 15,0	> 15,0
¹⁾ In den Prüfkornklassen 1 bis 4 mm einschließlich reaktionsfähigem Flint			

c – aus gebrochener Gesteinskörnung

	Alkaliempfindlichkeitsklassen ¹⁾	
	E I-S	E III-S
Grenzwerte für die Dehnung ϵ der Betonbalken in mm/m ²⁾	≤ 0,6	> 0,6
Rissbreiten der Würfel	≤ 0,20	≥ 0,20
¹⁾ Maßgebend ist die jeweils ungünstigere Bewertung.		
²⁾ Nach 9 Monaten Nebelkammerlagerung einschließlich Wärme- und Feuchtedehnung.		

2.5.3 Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch alkaliempfindliche Gesteinskörnung

Gemäß Alkali-Richtlinie sind die in Tabelle 2.17 genannten vorbeugenden Maßnahmen gegen schädigende Alkalikieselsäurereaktion im Beton zu ergreifen.

Tabelle 2.15: Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Zementgehalt kg/m ³	Erforderliche Maßnahmen für die Feuchtigkeitsklasse		
		WO	WF	WA
E I, EI-O EI-OF, E I-S	ohne Festlegung	-	-	-
E II-O	≤ 330	-	-	NA-Zement
E II-O – E II-OF	> 330	-	NA-Zement	NA-Zement
E III-O – E III-OF	> 330	-	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung
E III-S	≤ 300	-	-	-
	≤ 350	-	-	NA-Zement oder gutachtliche Stellungnahme ¹⁾
	> 350	-	NA-Zement oder gutachtliche Stellungnahme ¹⁾	Austausch der Gesteinskörnung oder gutachtliche Stellungnahme ¹⁾

¹⁾ Bis auf Weiteres erfolgt die Festlegung von vorbeugenden Maßnahmen auf Grundlage eines Gutachtens, für das besonders fachkundige Personen einzuschalten sind.

Für den Bereich des Bundesminister für Verkehr kommen für die Feuchtigkeitsklasse WS folgende zusätzliche Anforderungen (s. Tab. 2.18) zum Tragen:

Tabellen 2.16: Höchstzulässige Alkaligehalte von Zementen für Bauteile in der Feuchtigkeitsklasse WS

Zement	Hüttensandgehalt [M-%]	Alkaligehalt des Zements Na ₂ O-Äquivalent [M-%]	Alkaligehalt des Zements ohne Hüttensand/Ölschiefer Na ₂ O-Äquivalent [M-%]
CEM I + CEM II/A	–	≤ 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

2.6 Betontechnologische Kennwerte von Gesteinskörnungen

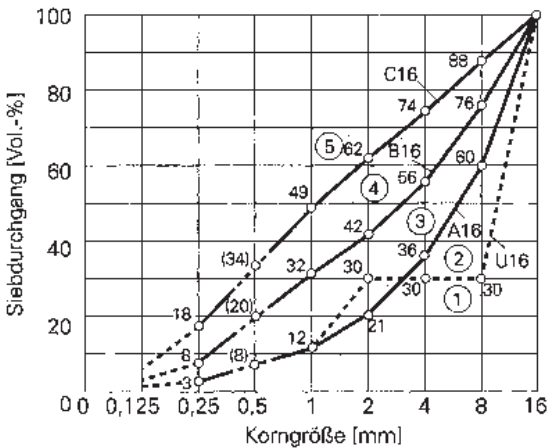
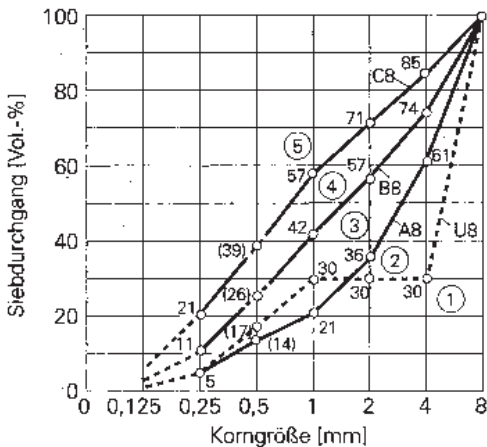
Die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnungen wird durch Sieblinien (Abbildungen 2.2–2.5) und durch darauf bezogene Kennwerte für die Korngrößenverteilung oder den Wasseranspruch gekennzeichnet (vgl. Abschnitte 2.7 und 2.8).

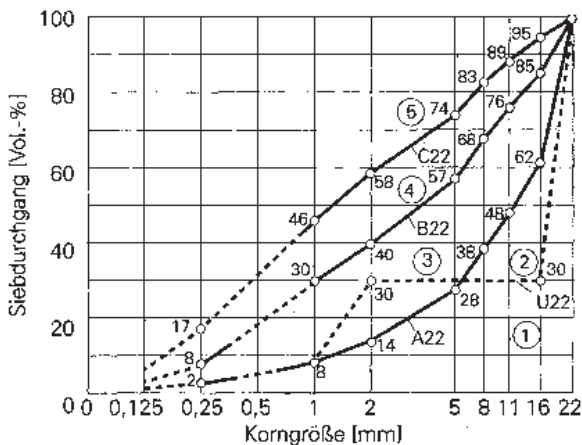
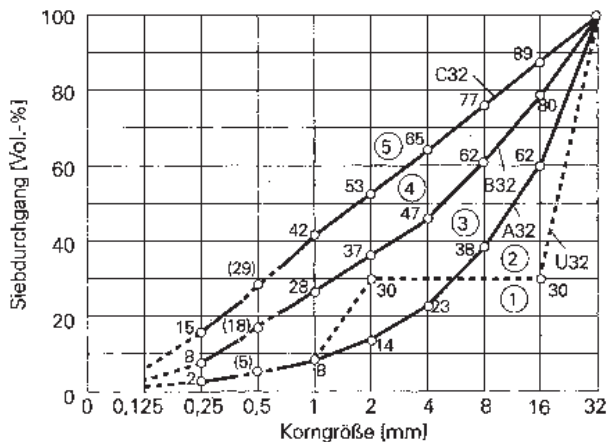
2.6.1 Sieblinien

Folgende Sieblinien gelten informativ nach DIN 1045-2. Die Bereiche werden unterschieden in:

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

Abbildungen 2.2–2.5: Sieblinien mit Größtkorn 8; 16; 32 und 22 mm nach DIN 1045-2 bzw. DAfStb-Heft 400





2.7 k-Wert und D-Summe

Um bei der Betonherstellung den Wasseranspruch eines beliebigen Korngemisches abzuschätzen, kann man sich eines Kennwerts bedienen, der aus der Sieblinie errechnet wird. Einfach lässt sich die sogen. **Körnungsziffer k** ermitteln. Hierzu ist die Summe der in Prozent angegebenen Rückstände auf dem unten gezeigten Siebsatz mit 9 Sieben von 0,25 bis 63 mm zu bilden und durch 100 zu teilen:

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

Auch die Summe der Durchgänge (**D-Summe**) kann als Kennwert dienen. Auch hierbei sind alle 9 Siebe in Rechnung zu stellen:

$$D = \text{Summe aller Durchgänge}$$

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

$$100 k + D = 900$$

Je größer das Größtkorn und je sandärmer das Zuschlaggemisch, umso größer ist die Körnungsziffer k bzw. umso kleiner ist die D-Summe.

Beispiel: Errechnung von k-Wert und D-Summe für Sieblinie B 32

Sieblochweite [mm]	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63	Summe
Siebrückstand [%]	92	82	72	63	53	38	20	0	0	420
Siebdurchgang [%]	8	18	28	37	47	62	80	100	100	480

Vgl. Abbildung 2.4 und Tabelle 2.19

$$k\text{-Wert} = \frac{420}{100} = 4,20$$

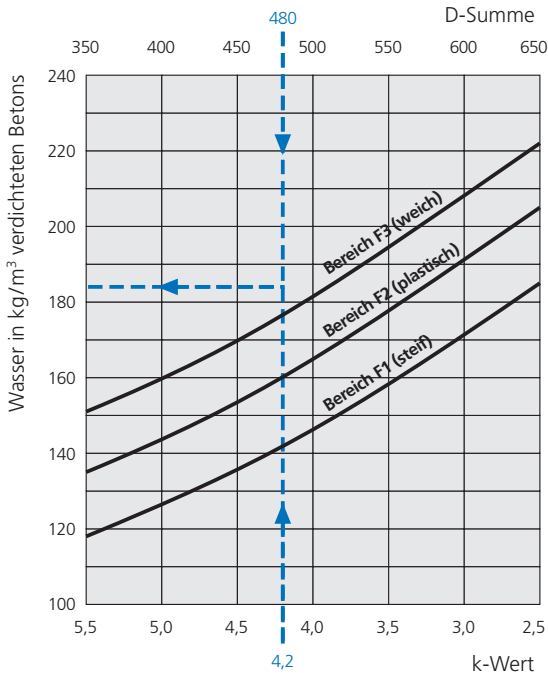
$$D\text{-Summe} = 480$$

Tabelle 2.19: Kornanteile, Körnungsziffern k und D-Summe der Regelsieblinien

Regel- sieblinie	Kornanteil (Siebdurchgang D _i) in Gew.-% bei Sieblochweite [mm]								k-Wert	D-Summe
	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5		
A 32	2	5	8	14	23	38	62	100	5,48	352
B 32	8	18	28	37	47	62	80	100	4,20	480
C 32	15	29	42	53	65	77	89	100	3,30	570
U 32	2	5	8	30	30	30	30	100	5,65	375
A 16	3	7	12	21	36	60	100		4,61	439
B 16	8	20	32	42	56	76	100		3,66	534
C 16	18	34	49	62	74	88	100		2,75	625
U 16	3	7	12	30	30	30	100		4,88	412
A 8	5	13	21	36	61	100			3,64	536
B 8	11	27	42	57	74	100			2,89	611
C 8	21	39	57	71	85	100			2,27	673
U 8	5	18	30	30	30	100			3,87	513

2.8 Wasseranspruch

Abb. 2.6: Wasseranspruch¹⁾, bezogen auf die oberflächentrockene Gesteinskörnung



¹⁾ Anhaltswerte für die Erstprüfung

Beispiel Sieblinie B 32 mit $k = 4,20$
 $D = 480$

Wasseranspruch für den oberen F3-Bereich: $w = 185 \text{ l/m}^3$

Anmerkung: Konsistenzklassen $\geq F4$ sind mit FM herzustellen.



Energiewende

Windenergieanlagen mit Zement und Beton von Dyckerhoff

3 Zusatzmittel für Beton und Mörtel

Beton- bzw. Mörtelzusatzmittel werden dazu eingesetzt, die Eigenschaften von Beton und Mörtel im frischen bzw. festen Zustand zu verbessern. Zu diesen Eigenschaften zählen z.B. die Verarbeitbarkeit, das Erstarren, das Erhärten, die Dichtigkeit, die Dauerhaftigkeit wie der Widerstand gegenüber angreifenden Medien und der Frost- und Tausalz-widerstand. Die Zusatzmittel wirken physikalisch und/oder chemisch vor allem auf die Bindemittel im Mörtel und Beton. Neben der gewünschten Hauptwirkung der Zusatzmittel können sie auch erwünschte oder nicht erwünschte Nebenwirkungen aufweisen, z.B. bei Betonverflüssigern die verflüssigende Hauptwirkung und eine verzögernde Nebenwirkung. Daher sind vor Einsatz von Zusatzmitteln stets Eignungsprüfungen durchzuführen.

3.1 Zusatzmittel für Beton

Für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 dürfen Betonzusatzmittel nach der Normreihe DIN EN 934 (Zusatzmittel mit CE-Kennzeichnung) verwendet werden. Nach den Regelungen der Normenreihe wird neben der Wirksamkeit und Gleichmäßigkeit der Zusatzmittel im Beton auch die Unschädlichkeit für die Bewehrung nach EN 480-14 nachgewiesen, sofern die Wirkstoffe nicht in Anhang 1 der EN 934-1 als anerkannte Substanzen aufgeführt sind.

Die Konformität der Zusatzmittel wird nach der EU-Bauproduktenverordnung durch ein Zertifikat der Leistungsbeständigkeit bescheinigt. In Deutschland ist darüber hinaus der Einsatz von Zusatzmitteln mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt), Berlin geregelt.

3.1.1 Wirkungsgruppen der Betonzusatzmittel

Betonzusatzmittel werden in verschiedene Wirkungsgruppen eingeteilt. Die Wirkungsgruppen, deren bislang zugeordnete Kurzzeichen und Farbkennzeichnung sind in der Tabelle 3.1 dargestellt. Kurzzeichen und Farbkennzeichnung für Betonzusatzmittel werden von den deutschen Zusatzmittelherstellern noch häufig verwendet, um Verwechslungsgefahren weiterhin auszuschließen.

Tabelle 3.1: Betonzusatzmittel: Wirkungsgruppen.
 Kurzzeichen und Farbkennzeichen: freiwillige
 Kennzeichnung der deutschen Zusatzmittelhersteller

Wirkungsgruppe	Kurzzeichen	Farbkennzeichnung	Konformitätsnachweis
Betonverflüssiger	(BV)	gelb	CE-Zeichen
Fließmittel	(FM)	grau	CE-Zeichen
Verzögerer/Fließmittel	(VZ/FM)	grau	CE-Zeichen
Luftporenbildner	(LP)	blau	CE-Zeichen
Dichtungsmittel	(DM)	braun	CE-Zeichen
Verzögerer	(VZ)	rot	CE-Zeichen
Erhärtungsbeschleuniger	(BE)	grün	CE-Zeichen
Erstarrungsbeschleuniger	(BE)	grün	CE-Zeichen
Spritzbetonbeschleuniger	(SBE)	grün	CE-Zeichen
Einpresshilfen	(EH)	weiß	CE-Zeichen
Stabilisierer	(ST)	violett	CE-Zeichen
Viskositätsmodifizierer	(VMA)		CE-Zeichen
Chromatreduzierer	(CR)	rosa	Zulassung
Recyclinghilfen für Waschwasser	(RH)	schwarz	Zulassung
Schaumbildner	(SB)	orange	Zulassung
Schwindreduzierer	(SRA)		Zulassung

Die zur Betonherstellung technisch erforderlichen Zusatzmittel gehören vor allem zu den Wirkungsgruppen Betonverflüssiger, Fließmittel, Verzögerer und Luftporenbildner.

3.1.1.1 Betonverflüssiger (BV)

Betonverflüssiger vermindern den Wasseranspruch und/oder verbessern die Verarbeitbarkeit des Betons. Durch ihre verflüssigende Wirkung erlauben sie es, bei gleicher Konsistenz, je nach Dosierung 10–15 l/m³ Wasser einzusparen oder bei gleichem Wassergehalt ein 5–10 cm größeres Ausbreitmaß am Frischbeton zu erzielen.

Durch die Reduzierung der Anmachwassermenge werden betontechnologische Verbesserungen wie höhere Festigkeit, erhöhte Wasserundurchlässigkeit und Dauerhaftigkeit sowie vermindertes Kriechen und Schwinden erreicht. Bei Transportbeton müssen Betonverflüssiger, zum Teil mit gewünscht verzögernder Nebenwirkung, ihre Wirkung über die Fahr- und Auslieferungszeit beibehalten.

Als reine Betonverflüssiger werden in aller Regel Ligninsulfonate eingesetzt.

Im erdfeuchten Beton verbessern Betonverflüssiger außer der Verarbeitbarkeit auch die Homogenität des Betons, bewirken dichte Gefüge und geschlossene Oberflächen und somit einen dauerhaften Beton. Die eingesetzten Wirkstoffe sind zumeist Tenside und Tensid-/Ligninsulfonatgemische.

3.1.1.2 Fließmittel (FM)

Fließmittel bewirken eine erhebliche Verminderung des Wasseranspruches von Beton und/oder führen zu einer stark verbesserten Verarbeitbarkeit bis hin zu Beton mit sehr fließfähiger Konsistenz (F5- und F6-Betone). Dadurch wird der Verdichtungsaufwand reduziert und der Betoneinbau auch unter schwierigen Bedingungen ermöglicht. Bei niedrigem w/z -Wert des Ausgangsbetons können, je nach Fließmitteltyp, auch bei hervorragender Verarbeitbarkeit frühhochfeste Betone hergestellt werden.

Sehr weiche und fließfähige Betone, d.h. Betone des Konsistenzbereiches F4 und höher, müssen mit Fließmitteln hergestellt werden. Seit Jahrzehnten verwendete Rohstoffe sind Melamin- und Naphthalinsulfonate.

Eine besondere Wirkstoffgruppe für Fließmittel stellen die Polycarboxylatether (PCE) dar. Diese Fließmittel der 4. Generation zeichnen sich durch ihre äußerst hohe Wirksamkeit aus. Die Herstellung von hochfesten, leicht verdichtbaren und selbstverdichtenden Betonen kann mit diesen Mitteln sicher erreicht werden.

In Transportbetonwerken werden Betonverflüssiger und Fließmittel gemeinsam eingesetzt. Für diesen Einsatzzweck werden oftmals verflüssigende Zusatzmittel mit Eignung als Betonverflüssiger und Fließmittel verwendet.

3.1.1.3 Verzögerer/Fließmittel (VZ/FM)

Verzögerer/Fließmittel haben eine verzögernde Zusatzwirkung auf den Erstarrungsbeginn und bewirken eine deutliche Verlängerung der Verarbeitbarkeitszeit der Betone. Diese Produkte eignen sich besonders für den Einsatz im Transportbetonbereich, bei besonders warmer Witterung und für die Herstellung großer monolithischer Bauteile.

3.1.1.4 Luftporenbildner (LP)

Luftporenbildner führen in den Beton Mikroluftporen mit definierten Porengehalten und -größen ein. Diese gleichmäßig verteilten Mikroluftporen bewirken einen hohen Frost- und Tausalz widerstand des Betons. Das ist vor allem im Straßen- und Brückenbau von großer Bedeutung. Die zur Erzielung frost- und tausalzwiderstandsfähiger Betone erforderlichen Luftgehalte sind in Tab. 6.15 angegeben. Außerdem können Luftporenbildner im Kornaufbau fehlendes Mehlkorn ersetzen und so die Verarbeitbarkeit des Betons ohne Erhöhung des Wasserbedarfs verbessern.

Es werden natürliche und synthetische Luftporenbildner eingesetzt. Die natürlichen Luftporenbildner werden aus Wurzelharzextrakten hergestellt.

Insbesondere bei der gemeinsamen Verwendung von verflüssigenden Betonzusatzmitteln und Luftporenbildnern ist die Verträglichkeit beider Zusatzmittel zu beachten. Eine Unverträglichkeit kann sich in unzureichendem Luftporengehalt, aber auch in ungünstiger Porenverteilung mit weniger kleinen Poren auswirken. Deshalb sollten nur vom Zusatzmittellieferanten empfohlene Kombinationen verwendet werden, deren Verträglichkeit durch einen Wirkungsnachweis (Einhaltung des Abstandsfaktors und ausreichender Mikroluftporengehalt) nachgewiesen werden kann.

3.1.1.5 Dichtungsmittel (DM)

Dichtungsmittel vermindern die kapillare Wasseraufnahme von Beton, wodurch der kapillare Wassertransport im Betonsteingefüge reduziert wird. Zudem geben diese Mittel dem Beton wasserabweisende (hydrophobe) Eigenschaften. In Deutschland dürfen nur Dichtungsmittel eingesetzt werden, mit denen der Nachweis der Wirksamkeit bei gleichem Wasser/Zementwert geführt wurde.

3.1.1.6 Verzögerer (VZ)

Durch Verzögerer kann die Verarbeitbarkeitszeit von Frischbeton über mehrere Stunden verlängert werden. Dies ist zum Beispiel bei Unterbrechungen des Betoniervorganges zur Vermeidung von Arbeitsfugen notwendig.

Beton mit Verzögerer, der gegenüber dem Beton ohne Verzögerer eine um mindestens 3 Stunden verlängerte Verarbeitbarkeitszeit aufweist, ist nach der DAfStb-Richtlinie („Verzögerter Beton“) herzustellen und zu verarbeiten.

Maßgebende Parameter zur Einstellung und Einhaltung der gewünschten Verzögerungszeit sind die Frischbetontemperatur, die Zementart und der Wasserzementwert. Die jeweils erforderliche Dosierung in Abhängigkeit von diesen Parametern ist in einer Erstprüfung zu ermitteln.

3.1.1.7 Beschleuniger (BE) und (SBE)

Beschleuniger für Beton sind im Hinblick auf ihre Wirkung in Erstarungs- und Erhärtungsbeschleuniger zu unterscheiden.

Erstarrungsbeschleuniger wirken beschleunigend auf die Erstarungszeit, die Betone weisen allerdings keine erhöhten Frühfestigkeiten auf.

Das klassische Anwendungsgebiet von Erstarrungsbeschleunigern liegt daher vor allem in der Spritzbetonverarbeitung. Für Beschleuniger für Spritzbeton ist die Konformität nach EN 934-5 nachzuweisen. Für diese Anwendung werden aus Arbeitsschutzgründen zunehmend alkalifreie oder alkaliarme Beschleuniger eingesetzt.

Erhärtungsbeschleuniger erhöhen die Frühfestigkeit ohne maßgebliche Verkürzung der Verarbeitungszeit. Das Anwendungsgebiet der Erhärtungsbeschleuniger liegt vor allem in der Herstellung von Betonfertigteilen und Betonwaren.

3.1.1.8 Einpresshilfen (EH)

Einpresshilfen sind Zusatzmittel zur Herstellung von Einpressmörtel für Spannbeton mit nachträglichem Verbund. Bei reduziertem Wasseranspruch erhöhen sie die Fließfähigkeit und vermindern das Wasserabsetzen. Zusätzlich bewirken sie durch Quellen eine Volumenvergrößerung, die das Schrumpfen des Mörtels ausgleicht. Als quellende Kom-

ponente wird in der Regel feinstverteiltes Aluminiumpulver verwendet. Nach DIN EN 445–447: „Einpressmörtel für Spannglieder“ gehört der Einsatz von Einpresshilfen zum Stand der Technik.

3

3.1.1.9 Stabilisierer (ST)

Stabilisierer werden vor allem eingesetzt, um bei Leichtbetonen das Aufschwimmen von Leichtzuschlägen zu verhindern und bei Unterwasserbetonen den Zusammenhalt der Betone zu verbessern. Das Bluten von Betonen kann durch den Einsatz von Stabilisierern wirksam vermindert werden. Als Wirkstoffe werden Polyethylenoxide, Methylcellulosen und Silicate eingesetzt.

3.1.1.10 Viskositätsmodifizierer (VMA)

Diese Wirkungsgruppe ist eng mit den Stabilisierern verwandt. Sie führen zu einer Verringerung der Sedimentation von Betonbestandteilen im Frischbeton. Anwendung finden Viskositätsmodifizierer aufgrund der bei dieser Wirkungsgruppe geringeren Auswirkungen auf die rheologischen Eigenschaften zumeist in leicht- und selbstverdichtenden Betonen. Bis zur Aufnahme von Viskositätsmodifizierern in die Regelungen der EN 934-2 wurden diese in Deutschland als Sedimentationsreduzierer (SR) bezeichnet und mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung verwendet.

3.1.1.11 Chromatreduzierer (CR)

Das nach dem Anmachen des Zementes mit Wasser in Lösung gehende Chrom (VI) gilt als Ursache für das so genannte Chromatekzem (bekannt als Maurerkrätze). Chromatreduzierer haben die Aufgabe, wasserlösliche sechswertige Chromverbindungen in unschädliche dreiwertige Chromverbindungen zu überführen. Als Chromatreduzierer werden Zinn(II)- und Eisen(II)-sulfate eingesetzt. Eisen(II)-sulfate können das Erstarrungsverhalten des Zements beeinflussen und unter Umständen zu Braunverfärbungen von Betonoberflächen führen. Bei der Verwendung von Zinnsulfaten sind Beeinträchtigungen von Zement- und Betoneigenschaften nicht bekannt. Chromatreduzierer als Betonzusatzmittel werden üblicherweise in der Werk trockenmörtel und -betonindustrie eingesetzt, um die Chromatreduktion über längere Zeiträume zu gewährleisten. Im Frischbeton ist die Zugabe normalerweise nicht notwendig, da die Chromatreduktion für diese Anwendungen von der Zementindustrie sichergestellt wird.

3.1.1.12 Recyclinghilfen für Washwasser (RH)

Recyclinghilfen für Washwasser können dann eingesetzt werden, wenn eine Reinigung von Transportbetonfahrzeugen über eine Recyclinganlage nicht möglich ist und das Washwasser im Transportfahrzeug verbleibt.

3.1.1.13 Schaumbildner (SB)

Schaumbildner werden zur Herstellung von Schaumbetonen und Leichtmörteln, bzw. Betonen und Mörteln mit porosiertem Zementstein verwendet. Schaumbildner werden üblicherweise mit speziellen Schaumgeneratoren in den vorgemischten Beton eingebracht. Die Schäume zeichnen sich durch hohe Stabilität aus. Sie bewirken bei steifen Ausgangskonsistenzen eine deutliche Erhöhung des Ausbreitmaßes und bei weichen Ausgangskonsistenzen von Leichtbetonen eine Stabilisierung des Betons, so dass eine Entmischung verhindert wird. An die Porengrößenverteilung wird bei dieser Stoffgruppe im Gegensatz zu den Luftporenbildnern (LP) keine Anforderung gestellt.

3.1.1.14 Schwindreduzierer

Schwindreduzierer („**S**hrinkage **R**educing **A**dmixtures“ kurz **SRA**) werden dem Frischbeton zugefügt, um das Schwinden und das Aufschüsseln des Betons zu verringern. Das Schwinden von Beton wird hauptsächlich durch das Austrocknen des Betons verursacht. Das Aufschlüsseln von Bodenplatten an Fugen oder Rändern wird durch einen Feuchtigkeitsgradienten im Bauteil hervorgerufen. Die Betonoberfläche trocknet schneller aus, als die Unterseite der Betonplatte. Die Wirkung der meisten heute verwendeten SRAs basiert auf der Verringerung der Oberflächenspannung des Wassers. Damit trocknet der Beton gleichmäßiger und langsamer aus. Die größte Reduktion des Trockenschwindens wird im jungen Beton im Alter von wenigen Tagen erzielt (nach 7 Tagen um 80 % verglichen mit Referenzbeton). Nach einem Jahr beträgt sie immer noch bis zu 50 %, wenn ca. 5–7 Liter pro m³ eines SRA verwendet werden. Die Wirkstoffe der SRA sind meist komplexe Glykole oder andere Alkohole. Für Schwindreduzierer ist eine Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung erforderlich. Es ist darauf zu achten, dass bei der Herstellung von Betonen in Kombination mit Luftporenbildnern die Verträglichkeit nachgewiesen ist.

3.1.2 Zugabemengen von Betonzusatzmitteln

Betonzusatzmittel werden in geringen Mengen dem Beton einzeln bis zu 50 g und bis zu 60 g bei mehreren Zusatzmitteln je kg Zement zugesetzt. Wegen der geringen Zugabemenge können die Zusatzmittel in der Stoffraumrechnung oft vernachlässigt werden. Übersteigt die Zugabemenge aller flüssigen Betonzusatzmittel 3 l/m^3 , so ist jedoch die jeweils darin enthaltene Wassermenge in der Stoffraumrechnung zu berücksichtigen und auf den w/z-Wert des Betons anzurechnen.

Tabelle 3.2: Grenzwerte für die Zugabemenge von Betonzusatzmitteln nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Anwendungsbereich	zulässige Zusatzmengen in g je kg Zement		
	Mindestzugabe ²⁾	Höchstzugabe ³⁾	
	2	eines Mittels	mehrerer Mittel
Beton, Stahlbeton, Spannbeton		50	60 bzw. 50 ⁴⁾
Beton mit alkaliempfindlichem Gesteinskörnung ¹⁾		≤ 20 ⁵⁾ oder ≤ 50 ⁵⁾	20 ⁵⁾ oder 50 ⁵⁾
Hochfester Beton		70 ⁶⁾⁷⁾	80 bzw. 70 ⁴⁾
Spritzbeton		70 ⁸⁾	–

1) bei Beton mit alkaliempfindlichem Gesteinskörnung: Alkali-Richtlinie beachten

2) kleinere Mengen sind erlaubt, wenn in einem Teil des Zugabewassers gelöst

3) maßgebend sind die Angaben des Herstellers

4) bei Verwendung von Zementen nach DIN 1164-11 oder DIN 1164-12

5) abhängig vom Alkaligehalt des Zusatzmittels

6) eines verflüssigenden Zusatzmittels

7) nur für BV und FM

8) nur Erstarrungsbeschleuniger mit einem Na_2O -Äquivalent $\leq 1,0 \text{ M-\%}$

Wird mehr als ein Zusatzmittel zugegeben, muss die Verträglichkeit der Zusatzmittel im Beton in der Erstprüfung nachgewiesen werden.

3.2 Zusatzmittel für Werk-Frischmörtel

Werk-Frischmörtel ist werkmäßig hergestellter Mauer- und Putzmörtel. Er wird in kellengerechter Konsistenz gebrauchsfertig mit Fahrmischern an die Baustelle geliefert.

Als Zusatzmittel für Werk-Frischmörtel kommen Verzögerer, Luftporenbildner (Schaumbildner) und Stabilisierer sowie deren Kombinationsprodukte zum Einsatz. Nach DIN 1053 (Mauerwerk) muss die Unschädlichkeit der Zusatzmittel für Stahlbewehrung nach EN 480-14 nachgewiesen sein.

3.3 Nachbehandlungsmittel

Durch den Einsatz von Nachbehandlungsmitteln wird der frische Beton bzw. Mörtel gegen vorzeitiges Austrocknen geschützt und eine ausreichende Erhärtung gerade der oberflächennahen Bereiche gefördert. Sie sind so früh wie möglich und vollflächig auf den Beton bzw. Mörtel aufzubringen.

Nach DIN 1045-3 sind Nachbehandlungsmittel mit nachgewiesener Eignung zu verwenden. Dies sind Nachbehandlungsmittel nach TL-NBM-StB 09. Nachbehandlungsmittel können die Haftung später aufzubringender Beschichtungen beeinträchtigen. Die Rückstände sind dann ggf. zu entfernen oder es ist nachzuweisen, dass sie keine nachteilige Wirkung auf den Haftverbund haben.

3.4 Handhabung von Betonzusatzmitteln

Die Haltbarkeit von Betonzusatzmitteln ist i.d.R. zeitlich begrenzt. Bei Überschreitung der Haltbarkeitsdaten ist der Einsatz der Produkte als Betonzusatzmittel nicht mehr zulässig. Es ist Rücksprache mit dem Zusatzmittelhersteller aufzunehmen. Flüssige Zusatzmittel sind nach längerer Lagerung oder nach Frosteinwirkung vor Gebrauch zu homogenisieren. Dies kann durch Schütteln, Rühren, oder z.B. mit Durchleitung von Pressluft erreicht werden. Grundsätzlich sind Fässer oder Tanks vor direkter Sonneneinstrahlung, offene Behälter vor Staub- und Windeinfluss zu schützen, um Schlamm- und Verdunstung und damit verbundene Änderungen in den Wirkstoff-Konzentrationen zu vermeiden (besonders kritisch für die Wirkungsgruppen Verzögerer und Luftporenbildner!). Offene Gebinde führen bei Regen zur Verdünnung der Produkte mit Einschränkung der Wirksamkeit. Die Lagerung der Zusatzmittel sollte bei Frost in geheizten Räumen bzw. beheizten Tanks erfolgen.

Eine sachgerechte Lagerung von Betonzusatzmitteln umfasst auch eine regelmäßige visuelle Prüfung der Lagertanks auf Ablagerungen am Boden und den Seitenwänden. Ebenso ist mikrobiologischer Befall durch eine Geruchsprüfung zu erkennen. In beiden Fällen ist bei Bedarf eine Tankreinigung durchzuführen.

Bei der Lagerung von Betonzusatzmitteln sind vom Verwender die Maßgaben der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) zu berücksichtigen. Angaben zum sicheren Umgang mit Betonzusatzmitteln sind den jeweiligen Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen.

Pulverförmige, trockene Betonzusatzmittel sind gegen Temperatureinflüsse weitestgehend unempfindlich. Durch Feuchtigkeitseinfluss kann es jedoch zu Verklumpungen der Wirk- und Trägerstoffe kommen. Pulverförmige Zusatzmittel sind deshalb trocken wie Zement zu lagern. Die Betonzusatzmittel dürfen nur in saubere und von Rückständen früherer Lieferungen freie Transport- und Lagerbehälter gefüllt werden. Während des Transports darf es zu keinen Verunreinigungen kommen.

Die Gebinde- bzw. Verpackungsaufschrift wird nach den in der Normreihe DIN EN 934 oder den im Prüfbescheid des DIBt aufgeführten Angaben gekennzeichnet mit der Art und Bezeichnung des Betonzusatzmittels, CE-Kennzeichnung, Hersteller, Überwachungszeichen mit Prüfzeichen, Herstellungsdatum, Chargennummer und Haltbarkeitsdauer, sowie ggf. Farbkennzeichen und Wirkungsgruppenkürzel.

Bei Kombinationen mehrerer Betonzusatzmittel sind unbedingt Erstprüfungen durchzuführen, auch wenn diese bereits einzeln auf ihre Eignung überprüft sind. Durch Zusatzmittel-Kombinationen können sich Wirkungen und Nebenwirkungen der einzelnen Produkte gegenseitig beeinflussen.

Bestimmte Betonzusatzmittel sind untereinander nicht mischbar und müssen mit getrennten Dosieranlagen dosiert werden. Zumindest ist bei einfach ausgelegten Dosieranlagen zwischen den einzelnen Dosiergängen unbedingt mit Wasser zu spülen.

4 Betonzusatzstoffe und Fasern

Als Zusatzstoffe für Beton werden nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 fein verteilte Zusätze bezeichnet, die bestimmte Betoneigenschaften beeinflussen und als Volumenanteile zu berücksichtigen sind. Sie werden unterschieden in nahezu inerte Zusatzstoffe (Typ I) und reaktive Zusatzstoffe (Typ II). Zu den Zusatzstoffen des Typs I zählen Gesteinsmehle nach DIN EN 12620 und Pigmente zum Einfärben nach DIN EN 12878. Zusatzstoffe des Typs II sind Trass nach DIN 51043, Flugasche für Beton nach DIN EN 450-1 und Silikastaub oder -suspension nach DIN EN 13236-1, oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.

Die Tabelle 4.2 enthält Kennwerte verschiedener Zusatzstoffe für Beton.

4

4.1 Reaktive Zusatzstoffe (Typ II)

4.1.1 Steinkohleflugaschen

In Steinkohlekraftwerken fallen als Nebenprodukt große Mengen staubfeiner Aschen in den Filtern an. Als Zusatzstoff für Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 dürfen jedoch nur solche Flugaschen (f) verwendet werden, die der Norm DIN EN 450-1 entsprechen und einer Eigen- und Fremdüberwachung unterliegen. Flugaschen verschiedener Herkunft dürfen nicht ohne Prüfung ausgetauscht werden.

Flugasche besteht hauptsächlich aus glasigen, teilweise kugelförmigen Partikeln. Gegenüber Zement bzw. Trass oder Gesteinsmehl, deren einzelne Partikel eine kubisch gebrochene Kornform besitzen, kann bei günstigen Flugaschen aufgrund ihrer kugeligen Form eine Verminderung des Wasseranspruchs auftreten.

Flugasche reagiert teilweise puzzolanisch, d.h., Anteile der Flugasche bilden mit Wasser und dem frei werdenden Calciumhydroxid des Zementes beständige Verbindungen und tragen zur Gefügebildung des Betons bei. Daher dürfen Flugaschen – in Verbindung mit Portlandzement, Portlandhütten- und Portlandkalksteinzement sowie weiteren Zementen einschließlich Hochofenzement mit ≤ 70 % Hüttensandgehalt – unter den in DIN 1045-2 genannten Bedingungen beim Mindestzementgehalt und beim Wasserzementwert des Betons berücksichtigt werden, vgl. Kapitel 6, Beton, Abschn. 6.1.5.3.

Vor der Verwendung von Flugasche ist durch Erstprüfung sicherzustellen, dass die gewünschten Frisch- und Festbetoneigenschaften erreicht werden. Bei Sichtbeton sind ggfs. die Helligkeitsunterschiede der Flugaschen zu berücksichtigen, um spätere Mängel wegen unterschiedlich ausgefallener Sicht-

betonflächen zu vermeiden. Die Begrenzung des Mehlkorngehalts ist bei Verwendung von Flugaschen zu beachten.

4.1.2 Trass

Der Baustoff Trass ist nach DIN 51043 genormt. Als Zusatzstoff für Beton muss er der Norm entsprechen und einer Eigen- und Fremdüberwachung unterliegen. Trass gehört zu den vulkanischen Gläsern und besteht überwiegend aus Kieselsäure, Tonerde sowie chemisch und physikalisch gebundenem Wasser.

Trass besitzt natürliche puzzolanische Eigenschaften, d.h., dass er bei normalen Temperaturbedingungen mit Wasser und dem frei werdenen Calciumhydroxid des Zementes unter Bildung von beständigen, festigkeitswirksamen Verbindungen hydratisiert.

4.1.3 Silikastaub/Silikasuspension

Silikastaub und Silikasuspension (s) sind Zusatzstoffe, die auf Basis der harmonisierten europäischen Norm DIN EN 13263-1 in Beton eingesetzt werden dürfen. Sie fallen als Nebenprodukte der Siliciummetall- oder Ferrosiliciumlegierungen an. In Deutschland dürfen nur Silikastäube aus diesen Prozessen eingesetzt werden. Sie bestehen fast ausschließlich aus Siliziumdioxid SiO_2 . Silikastäube sind sehr fein (spez. Oberfläche nach BET um $20 \text{ m}^2/\text{g}$ – mittlerer Korndurchmesser $0,1 \mu\text{m}$), was ihre Dispersion im Beton erschwert. Silikasuspensionen enthalten rd. 50 % Wasser, sie lassen sich leichter dosieren und dispergieren als der Staub. Diese Suspensionen neigen oftmals zum Entmischen. Solche Produkte müssen daher vor dem Einsatz in Beton mit geeigneten Maßnahmen homogenisiert werden.

Das amorphe SiO_2 reagiert aufgrund seiner geringen Partikelgröße und seines hohen Gehalts an glasartig erstarrtem SiO_2 schnell und vollständig puzzolanisch mit dem Calciumhydroxid des Zementes. Aus diesem Grund wird Silikastaub in Verbindung mit Portlandzement, Portlandhütten- und Portlandkalksteinzement sowie weiteren Zementen einschließlich Hochofenzement beim Mindestzementgehalt und beim Wasserzementwert des Betons mit einem k-Wert von 1 berücksichtigt, vgl. Kap. 6, Beton, Abschn. 6.1.5.3.

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Alkalitätsreserve im Beton ist die Zugabe von Silikastaub bzw. -suspension in Beton nach DIN EN 206-1, bzw. DIN 1045-2 begrenzt. Bei der Verwendung von Zementen mit Si-

lika-staub als Hauptbestandteil (CEM II/A-D) ist die zusätzliche Zugabe von Silikastaub nicht zulässig.

4.1.4 Hüttensandmehl

Hüttensandmehl ist ein feines Pulver aus Hüttensand und kann als Zusatzstoff Typ II für Beton eingesetzt werden, da dieser latent hydraulische Eigenschaften besitzt. Granulierte Hochofenschlacke (Hüttensand) entsteht durch das schnelle Abkühlen einer Schlackenschmelze. Für den Beton geeignetes Hüttensandmehl entsteht durch das Mahlen von Hüttensand.

In der Norm DIN EN 15167-1 sind die chemischen und physikalischen Eigenschaften, deren Anforderungen sowie die Güteüberwachung festgelegt, um Hüttensandmehl zur Herstellung von Beton einzusetzen (s. Tabelle 4.1).

Für die Anwendung von des k-Wert-Ansatzes auf Hüttensandmehl gelten die Festlegungen nach DIN 1045-2, 5.2.5.2.2 für Flugasche mit Ausnahmen sinngemäß.

Tabelle 4.1: Anforderungen an Hüttensandmehl nach DIN EN 15167-1

Techn.Daten/Chemische Anforderungen		
Eigenschaft	Anforderungen ¹⁾	
Magnesia EN 196-2	≤ 18 %	
Sulfat EN 196-2	≤ 2,5 %	
Sulfid EN 196-2	≤ 2,0 %	
Glühverlust nach Berichtigung in Bezug auf die Oxidation von Sulfid EN 196-2	≤ 3,0 %	
Chlorid ²⁾ EN 196-2	≤ 0,10 %	
Feuchtegehalt Anhang A	≤ 1,0 %	
Physikalische Anforderungen		
Feinheit	≥ 275 m ² /kg	
Zeit bis zum Erstarrungsbeginn ³⁾	< 100 %	
Aktivitätsindex	7 d	≥ 45 %
	28 d	≥ 70 %

¹⁾ Die Anforderungen sind als Massenanteile des gebrauchsfertigen Hüttensandmehl angegeben.

- 2) Hüttensandmehl darf mehr als 0,10 % an Chlorid enthalten, es muss jedoch der maximale Chlorgehalt als nicht zu überschreitender Wert auf der Verpackung und /oder Lieferschein angegeben werden.
- 3) Die Zeit bis zum Beginn der Erstarrung des Gemisches aus Hüttensandmehl und Prüfzement (50%/50%) darf höchstens so lang sein, wie die Zeit, die der betreffende Prüfzement (100%) benötigt.

4.2 Inerte Zusatzstoffe (Typ I)

4

4.2.1 Gesteinsmehle

Im Gegensatz zu Flugasche und Trass sind Gesteinsmehle inerte Materialien, die keine hydraulischen oder puzzolanischen Eigenschaften aufweisen. Sie werden vielmehr nur zur Verbesserung der Sieblinie und damit der Verarbeitbarkeit des Betons eingesetzt. Für ihre Verwendung im Beton müssen sie DIN EN 12620 entsprechen und eigen- und fremdüberwacht werden. Gut geeignete Gesteinsmehle zeichnen sich aus durch:

- Verbesserung der Verarbeitbarkeit und der Grünstandsfestigkeit bei erdfeuchtem Beton,
- Erhöhung des Zusammenhalts bei leicht verarbeitbarem Beton,
- Stabilisierung und Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens bei Beton, auch bei Mauer- und Putzmörteln sowie Estrichen.

Tabelle 4.2: Kennwerte für Zusatzstoffe (Anhaltswerte)

Technische Daten	Flugasche	Trass	Silikastaub	Gesteinsmehle		Pigmente
				Kalkstein	Quarz	
Zusatzstoffe Typ II			Zusatzstoffe Typ I			
Spez. Oberfläche [cm ² /g]	≥ 2 500	≥ 5 000	≥ 180 000 ≥ 250 000	≥ 3 500	≥ 1 000	50 000– 200 000
Dichte [kg/dm ³]	2,2–2,6	2,4–2,6	2,2	2,6–2,7	2,6–2,65	4–5
Schüttdichte [kg/dm ³]	1,0–1,1	0,70–1,0	0,3–0,6	1,0–1,1	1,35	–
Glühverlust [Gew.-%]	≤ 5,0	≤ 12	≤ 3,0	ca. 40	0,2	–
SO ₃ -Gehalt [Gew.-%]	≤ 3,0	≤ 1	≤ 2,0))	–
Cl-Gehalt [Gew.-%]	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1))	–

1) nach DIN EN 12620

Dyckerhoff liefert:

- Kalksteinmehl nach DIN EN 12620 bzw. EN 13043 ab Werk Deuna.

4.2.2 Pigmente

Pigmente nach DIN EN 12878 dürfen als Zusatzstoffe verwendet werden. Es dürfen nur anorganische Pigmente und Pigmentruß der Kategorie B dieser Norm eingesetzt werden. Für die Verwendung in stand sicherheitsrelevanten Bauteilen aus Stahlbeton oder Spannbeton muss für Pigmente (Pigmentmischungen und wässrige Pigmentpräparationen) nachgewiesen sein, dass das Pigment keine korrosionsfördernde Stoffe für den im Beton eingebetteten Stahl enthält. Pigmente nach DIN EN 12878 müssen hinsichtlich Druckfestigkeit und des Gehalts an wasserlöslichen Substanzen die Anforderungen der Kategorie B erfüllen. Pigmente mit einem Gesamtchlorgehalt von $\leq 0,10$ % Massenanteil dürfen ohne besonderen Nachweis verwendet werden.

Pigmente sind i.d.R. mineralisch. Zur dauerhaften Farbwirksamkeit müssen sie lichtecht und stabil im alkalischen Zementstein sein. Die im Vergleich zu Zement sehr feinen Partikel umhüllen die Zementteilchen und überdecken mit ihrer Eigenfarbe die Zementfarbe. Pigmente werden als Pulver und zur besseren Handhabung als Slurry oder als Granulate angeboten.

Pigmente werden bis zur Sättigungsgrenze dosiert, angegeben in Prozent des Zementgewichts. Danach bewirkt eine weitere Zugabe keine Steigerung der Farbtintensität. Trotz ihrer hohen Feinheit dürfen sie auch bei Gehalten bis 10 M.-% von Zement die Betoneigenschaften nicht negativ beeinflussen. Gegebenenfalls ist ein erhöhter Wasseranspruch ziel sicher mit Betonverflüssiger oder Fließmittel zu kompensieren, zusätzlich wird durch diese Zugabe die Dispergierung der Pigmente verbessert. Beim Einsatz im bewehrten Beton ist der Anteil der wasserlöslichen Chloride zu beachten, um Bewehrungskorrosion vorzubeugen.

4.2.3 Organische Zusatzstoffe

Einzelne Kunststoffdispersionen haben eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung als Betonzusatzstoff. Ihre Hauptwirkung beruht einerseits in einer Verflüssigung des Frischbetons bei Steigerung des Zusammenhalts. Darüber hinaus verringern Kunststoffdispersionen das Eindringen von organischen Flüssigkeiten im Festbeton durch Füllen der Kapillarporen sowie ggfs. durch eine Quellwirkung. Daher werden sie für Beton von Auffangwannen umweltgefährdender Flüssigkeiten verwendet, der Nachweis der Wirksamkeit im Beton wird nach DAfStB Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ geführt.

4.3 Fasern

Die Verwendung von Fasern ist in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 in Abhängigkeit vom Werkstoff geregelt. Die Verwendung von Stahlfasern nach DIN EN 14889-1 ist zulässig.^{*)}

Die Verwendung von Kunststofffasern nach DIN EN 14889-2 ist nur mit allgemeiner bauaufsichtlichen Zulassung möglich. Allerdings ist es Stand der Technik, wichtige Eigenschaften des Betons wie z.B. die Schlag- und Zugfestigkeit und die Resttragfähigkeit durch den Zusatz von Fasern zu verbessern (s. dazu auch Kapitel 7.5). Die Fasern werden dem Frischbeton zugesetzt und werden beim Erhärten fest in die Betonmatrix eingebunden. Vor der Anwendung ist mit Erstprüfungen nachzuweisen, dass die erforderlichen Eigenschaften erreicht werden.

Es werden Fasern aus unterschiedlichen Materialien eingesetzt, die gebräuchlichsten sind solche aus Stahl und Kunststoff. Die wesentliche Wirkung der Fasern besteht in der Behinderung der Rissbildung und der Erschwerung der Rissausbreitung, ggfs. der Erzielung gleichmäßiger Rissverteilung. Der Widerstand gegen Rissausbreitung von faserverstärkten Betonen steigt mit der zugegebenen Menge an Fasern an. Dieser kann durch eine sogenannte äquivalente oder residuale Biegezugfestigkeit gemessen und charakterisiert werden. Die Druckfestigkeit und die Biegezugfestigkeit des Betons hingegen werden nur unwesentlich beeinflusst.

Für die Wirkung der Faserzugabe ist eine homogene Verteilung der Fasern im Betongefüge entscheidend. Beim Mischen und bei der Verarbeitung zeigen sich Fasern mit einem Verhältnis von Länge zu Durchmesser zwischen 50 und 100 als besonders günstig. Der Einsatz von Fasern im Spritzbeton kann den Rückprall spürbar reduzieren.

4.3.1 Kunststoffmikrofasern

Die Rohstoffe zur Herstellung dieser Fasern sind hauptsächlich Polypropylen, Polyethylen, Polyacrylnitril und Polyamid. Die Durchmesser bewegen sich zwischen 10 und 50 μm , bei Längen zwischen 5 und 20 mm. Die Zugfestigkeit liegt in Abhängigkeit vom verwendeten Rohstoff zwischen 500 N/mm^2 (Polypropylen) und 3600 N/mm^2 (Kevlar). Zur Aufnahme von Zugkräften im erhärteten Beton sind sie im Allgemeinen zu weich (niedriger E-Modul) und zu klein und daher deutlich weniger tauglich, als statisch wirksame Fasern.

*) lose, geklebte oder in Dosierverpackung, SF nach EN 14889-1 mit Zinkbeschichtung nicht zulässig, außer wenn Nachweis vorhanden EN 206:2014-07; S34

Ein wichtiges Einsatzgebiet für Kunststoff Mikrofasern ist die Verbesserung des Brandverhaltens von hochfesten Betonen. Aufgrund des dichten Gefüges dieser Betone kann Wasserdampf, der im Brandfall aufgrund der hohen Temperaturen im Beton freigesetzt wird, nicht entweichen. Durch den Druckaufbau im hochfesten Beton könnte es zu explosionsartigem Versagen kommen. Zugesezte Kunststoffmikrofasern werden bei Brand zersetzt, und durch die so entstehenden Hohlräume kann der Wasserdampf entweichen, so dass sich der Druck abbaut. Spritzbetone für Tunnelinnenschalen in Österreich sind seit den letzten Tunnelbränden mit mindestens 2 kg/m^3 Mikrofasern herzustellen. In Deutschland bestehen solche Anforderungen noch nicht.

Kunststoffmikrofaserbeton mit Polypropylen-Mikrofasern wird auch hergestellt, um die Schwindrissbildung im jungen Beton zu reduzieren und die Grünstandfestigkeit günstig zu beeinflussen. Die Dosierungen, die zur effektiven Kontrolle des plastischen Frühschwindens eingesetzt werden, bewegen sich zwischen $0,3$ und $0,9 \text{ kg PP Mikrofasern pro m}^3$ Beton. Bedingt durch die hohe Faseroberfläche – der Faserdurchmesser der PP Mikrofasern liegt in der Regel bei 30 Mikrometer – wird die Verarbeitbarkeit des Betons bei höheren Dosierungen sehr stark beeinträchtigt.

4.3.2 Kunststoffmakrofasern

Kunststoffmakrofaser verstärkter Beton weist – bei entsprechender Dosierung und Qualität von Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE)-Makrofasern – durch sein duktileres Verhalten eine Zugfestigkeit auch nach der Rissbildung auf. Darüber hinaus kann die Zugabe von Kunststoffmakrofasern zu einer Verminderung der Schwindrissbildung im jungen Beton und der Rissbildung im Festbeton führen. Die Dosierungen, die zu einer merkbaren Verringerung der Sprödigkeit des Betons notwendig sind, bewegen sich zwischen 2 und $7 \text{ kg PP Makrofasern pro m}^3$ Beton. Die Effektivität von Kunststoffmakrofasern hängt von der Querschnittsform (rechteckig, rund, nierenförmig), der Oberflächenbeschaffenheit, dem Elastizitätsmodul und der Zugfestigkeit der Fasern ab. Diese Größen beeinflussen das Verbundverhalten und somit das Bruchverhalten des Faserbetons. Die Zugfestigkeiten von gängigen PP und PE Makrofasern liegen zwischen 300 bis 800 N/mm^2 . Die E-Moduln der im Gebrauch befindlichen PP und PE Makrofasern liegen zwischen 3000 bis 15000 N/mm^2 . Die Zugfestigkeit nach der Rissbildung kann bei der Bemessung von Bauteilen aus Kunststoffmakrofaserbeton rechnerisch angesetzt werden, wodurch in vielen Fällen auf die Mindestbewehrung verzichtet werden kann. Für diese statische Anrechnung der Kunst-

stoffmakrofasern muss für viele Bauteile eine gesonderte Zulassung beim DIBt im Einzelfall erwirkt werden.

4.3.3 Stahlfasern

Die Verwendung von Stahlfasern hat in den vergangenen Jahren erheblich zugenommen. Es werden Fasern aus hochfesten Stählen (Zugfestigkeiten zwischen 1000 bis 3500 N/mm²) verwendet, die in unterschiedlicher Form (gerade, gewinkelt, gewellt und Mischformen, z.T. auch wasserlöslich verklebt) eingesetzt werden. Wobei Stahldrahtfasern im Allgemeinen am besten zur Steigerung der Nachrissbiegezugfestigkeit im Beton beitragen. Stahldrahtfasern weisen Längen von 20 bis 80 mm bei Durchmessern zwischen 0,2 bis 1 mm auf. Beton mit Stahlfasern verfügt – bei entsprechender Dosierung und Qualität der Stahlfasern – durch sein duktiles Verhalten über eine Zugfestigkeit auch nach der Rissbildung.

Wenn die Zulassung es vorsieht, kann die Zugfestigkeit des gerissenen Stahlfaserbetons bei der Bemessung von Betonbauteilen genutzt werden (Dyckerhoff FERRODUR nach DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton). Die Zugfestigkeit nach der Rissbildung kann bei der Bemessung von Bauteilen aus Stahlfaserbeton rechnerisch angesetzt werden, wodurch in vielen Fällen auf die Mindestbewehrung verzichtet werden kann. Dies muss jedoch im Einzelfall geprüft werden.

4.3.4 Glasfasern

Glasfasern werden in Schleuder- und Düsenziehverfahren mit Durchmessern zwischen 5 und 20 µm hergestellt. Die Alkalibeständigkeit der Glasfasern wird durch spezielle chemische Zusammensetzung der Gläser (AR-Gläser) bewirkt, sie muss in der Zulassung bestätigt sein. Sie werden zumeist als Mikrofasern zur Kontrolle des Fröhschwindens und des Blutens eingesetzt.

Tabelle 4.3: Kennwerte für Werkstoffen für Fasern (Anhaltswerte)

Faserart	Durchmesser [μm]	Dichte [kg/m^3]	Zugfestigkeit [N/mm^2]	E-Modul [kN/mm^2]	Bruchdehnung [%]
Asbest	0,02–30	2500–3400	550–4000	80–200	20–30
Glas	5–15	2500–2900	1000–4000	70–120	20–40
Stahl	5–100	7800–7850	300–4000	200–210	15–30
Aramid [Kevlar]	10–12	1400–1450	2800–3000	65–135	25–40
Polyamid	4–20	100–1150	500–1000	4–5	100–150
Polyester	20–380	1400	700–900	8	
Polyethylen	4	950–1380	700–1000	0,1–11	
Polypropylen	20–200	900	300–800	3–8	200
Kohlenstoff (Carbon)	3–18	1600–1900	800–4000	40–600	0,5–10
Bor	100–140	2650	2800–3500	400	
Steinwolle	5	2700	500–1000	70–120	4
Sisal	10–15	1500	800		3
Baumwolle		1500	400–700	5	20–70

5 Zugabewasser

Geeignet für die Betonherstellung sind nach DIN EN 1008 folgende Wässer:

- Trinkwasser (ohne zusätzliche Prüfung verwendbar!),
- übliches in der Natur vorkommendes Wasser (Grundwasser, natürliches Oberflächenwasser und industrielles Brauchwasser), soweit es nicht Bestandteile enthält, die das Erhärten oder andere Eigenschaften des Betons ungünstig beeinflussen oder den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigen, es muss vor der ersten Anwendung geprüft werden,
- Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung, es muss die Anforderungen nach Anhang A der DIN EN 1008 erfüllen,
- Meerwasser oder Brackwasser im Allgemeinen nur für unbewehrten Beton,
- es können mehrere Wasser kombiniert werden, dann gelten die Anforderungen für kombiniertes Wasser nach Anhang 2.2 der DIN EN 1008. Das Prüfschema für Zugabewasser ist im Anhang B der DIN EN 1008 enthalten. Für eine „rückstandsfreie“ Betonherstellung ist die Wiederverwendung des Restwassers von großer Bedeutung. Restwasser stammt aus Restbeton, aus Wasser, welches zum Auswaschen von Restbeton, zum Reinigen der Mischer und Fahrmischertrommeln verwendet wird, und gegebenenfalls aus Niederschlags- und Frischwasser. Restwasser ist für Stahl- und Spannbeton zulässig, die Anforderungen sind darauf abgestellt.

Restwasser enthält Feinstanteile 0/0,25 mm und trägt sie in den Beton wieder ein. Die Zugabemenge ist i.d.R. so zu begrenzen, dass < 1 M.-% der gesamten Gesteinskörnung als Feststoffe zugegeben werden. Bei Restwasser mit einer Dichte von $\leq 1,01$ kg/l dürfen die Mengen an Feststoffen als vernachlässigbar angesehen werden. Grundsätzlich ist eine gleichmäßige Verteilung der Feststoffe durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen.

Insbesondere bei besonderen Anforderungen an Betone, wie z.B. Sichtbeton, vorgespannten Beton und aggressiven Umgebungsbedingungen ausgesetzt Beton, ist der mögliche Einfluss des Restwassers zu berücksichtigen.

Produktionsprozessbedingt darf eine höhere Menge an Feststoffen verwendet werden, sofern eine genügende Leistungseigenschaft des Betons nachgewiesen werden kann.

Die Masse der Feststoffe im Restwasser ist anhand der Tab. 5.1 zu bestimmen und ist ebenso wie das Restwasser bei der Bemessung des Betons zu berücksichtigen.

Tabelle 5.1: Feststoffgehalt im Restwasser

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

Der Tabelle liegt eine Korndichte von 2,1 kg/l zugrunde.

Restwasser darf nicht für hochfesten Beton > C50/60 oder > LC 50/55 und für Beton mit Luftporenbildnern verwendet werden.

Die Dichte des Restwassers ist täglich zum Zeitpunkt der zu erwartenden höchsten Dichte zu bestimmen, sofern im Qualitätshandbuch des Herstellers keine anderen Verfahren zur Überwachung der Dichte angegeben sind.

Nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 wird die 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 Dampfheizung als Gesamtwassergehalt bezeichnet.

Der wirksame Wassergehalt (3.1.30 nach EN 206-1/1045-2) setzt sich aus der Oberflächenfeuchte der Gesteinskörnung und dem Zugabewasser zusammen.

Die Kernfeuchte, Gesteinskörnungen mit porigem Gefüge saugen zusätzlich Wasser auf, wirkt sich nicht auf die Konsistenz und den Wasserzementwert aus.

Wirksamer Wassergehalt		
Oberflächenfeuchte	Zugabewasser	Kernfeuchte
Gesamtwassergehalt		

Die Summe aus Oberflächenfeuchte und Kernfeuchte wird als Eigenfeuchte verwendet.

DIN EN 1008 schreibt eine Vorprüfung des Zugabewassers vor (Trinkwasser ohne Prüfung verwendbar!), die Anforderungen sind in Tab. 5.2 enthalten. Alle notwendigen Prüfverfahren sind in der DIN EN 1008 festgelegt und beschrieben.

Sind eine oder mehrere Anforderungen nicht erfüllt, müssen die chemischen Anforderungen nach Tab. 5.3 zzgl. Schwefel, Alkalien und schädliche Stoffe erfüllt sein und die Eignung für Beton hinsichtlich Erstarrungszeit (Erstarrungsbeginn ≥ 1 h + Erstarrungsende ≤ 12 h und $\leq 25\%$ Abweichung zur Vergleichsprobe mit destilliertem bzw. ionisiertem Wasser) nachgewiesen werden. Zusätzlich muss die mittlere Druckfestigkeit nach 7 Tagen 90% der mittleren Druckfestigkeit der Vergleichsproben betragen.

Tabelle 5.2: Anforderungen (Auszug aus DIN EN 1008 ohne Spalte der Prüfverfahren)

		Anforderungen
1	Öle und Fette	Nur Spuren sind erlaubt
2	Reinigungsmittel	Schaum muss innerhalb von 2 min zusammensinken
3	Farbe	Wasser aus anderen Quellen als nach 3.2 klassifiziert: Farbe muss schwach gelblich oder heller sein
4	Schwebstoffe	Wasser aus Quellen nach 3.2
		Wasser aus anderen Quellen: höchstens 4 ml Absetzvolumen
5	Geruch	Wasser aus Quellen nach 3.2: Nur Geruch von Trinkwasser und leichter Geruch von Zement und bei Flugasche im Wasser leichter Geruch von Schwefelwasserstoff
		Wasser aus anderen Quellen: Nur Geruch von Trinkwasser. Kein Geruch von Schwefelwasserstoff nach dem Hinzufügen von Salzsäure
6	Säuren	$\text{pH} \geq 4$
7	Huminstoffe	Nach dem Hinzufügen von NaOH muss die Farbe qualitativ nachweisbar schwach gelblich braun oder heller sein

Tabelle 5.3: Höchstchloridgehalt des Zugabewassers (Auszug aus DIN EN 1008 ohne Spalte Prüfverfahren)

Endgültige Verwendung	Höchstgehalt mg/l
Vorgespannter Beton oder Einpressmörtel	500
Beton mit Bewehrung oder eingebetteten Metallteilen	1.000
Beton ohne Bewehrung und eingebetteten Metallteilen	4.500

Der Schwefelgehalt (SO_4^{2-}) darf nicht mehr als 2.000 mg/l betragen, bei alkali-empfindlichen Zuschlägen im Beton muss das Wasser nach DIN EN 196-21 geprüft werden, wobei das Na_2O -Äquivalent üblicherweise nicht mehr als 1.500 mg/l betragen darf (Ausnahme: Nachweis von Maßnahmen zur Vermeidung schädlicher Alkalisilikatreaktionen).

Schädliche Verunreinigungen dürfen nach Prüfung die Grenzwerte der Tab. 5.4 nicht überschreiten.

Tabelle 5.4: Anforderungen an schädliche Stoffe

Stoff	Höchstgehalt mg/l
Zucker	100
Phosphate, ausgedrückt als P_2O_5	100
Nitrate, ausgedrückt als NO_3	500
Blei, ausgedrückt als Pb^{2+}	100
Zink, ausgedrückt als Zn^{2+}	100



Dyckerhoff REWADUR Bankettbeton
Für sichere Straßenrandbefestigungen

www.dyckerhoff.com

 **Dyckerhoff**

6 Beton – Zusammensetzung, Herstellung und Ausführung

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

Beton ist ein künstlich hergestellter Stein, der durch Mischen von Zement, Gestein und Wasser entsteht. Durch die Reaktion von Zement und Wasser zu dem sogenannten Zementstein werden die einzelnen Gesteinskörner fest und dauerhaft miteinander verbunden. Zusätze können helfen, definierte Eigenschaften einzustellen.

Beton ist weltweit betrachtet der wichtigste und wirtschaftlichste Baustoff. Ohne Beton wäre die Entwicklung von Gebäuden und Infrastrukturbauwerken, wie wir sie heute kennen, kaum vorstellbar.

Eine der wichtigsten Grundanforderungen an Bauwerke ist die mechanische Festigkeit und die Standsicherheit. Aus diesem Grunde sind beim Bauen mit Beton einige Regeln zu beachten. Maßgebend ist die DIN EN 206-1 bzw. die DIN 1045-2 als deutsche Anwendungsregel. Der Zusammenhang zwischen der DIN 1045-2 und andere Normen ist in Tabelle 6 dargestellt. Sie gilt für

- Normal-, Schwer- und Leichtbeton, der als
- Baustellenbeton, Transportbeton oder Beton in einem Fertigteilwerk hergestellt wird.

Beton kann

- unbewehrt und als Stahl- oder Spannbeton nach dieser Norm genutzt werden.

Tabelle 6: Zusammenhang der Normen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (DIN Fachbericht 100) sowie Richtlinien und anderen Regelwerken

6

Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton	
Prüfverfahren für Frischbeton DIN EN 12350, u.a.	Zement DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-11, DIN 1164-12, DIN EN 14216
Prüfverfahren für Festbeton DIN EN 12390, u.a.	Flugasche für Beton DIN EN 450-1
Nachweis der Betondruckfestigkeit in Bauwerken DIN EN 13791	Silikastaub für Beton DIN EN 13263-1
Prüfen von Beton in Bauwerken DIN EN 12504	Trass DIN 51043
DAfStb-Richtlinien: Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, Verzögerter Beton, Trockenbeton, Alkalireaktion, Selbstverdichtender Beton, Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Vergussbeton und Vergussmörtel, massige Bauteile, WU-Bauwerke aus Beton	Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel DIN EN 934-2
	Gesteinskörnungen für Beton DIN EN 12620, DIN EN 13055-1, DIN 4226-101, DIN 4226-102
	Pigmente zum Einfärben von zement- und kalkgebundenen Baustoffen DIN EN 12878
	Zugabewasser DIN EN 1008
	Fasern für Beton DIN EN 14889-1, DIN EN 14889-2

6.1.1 Begriffe gemäß DIN EN 206-1

6.1.1.1 Allgemeines

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.

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

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

Beton nach Eigenschaften – Beton, für den die geforderten Eigenschaften und zusätzliche Anforderungen dem Hersteller gegenüber festgelegt sind.

Bemessungslebensdauer – angenommene Zeitspanne, während der ein Tragwerk oder ein Teil davon für den geplanten Zweck bei der erwarteten Instandhaltung, aber ohne wesentliche Instandsetzungsmaßnahmen genutzt werden kann.

Dokument – Information und ihr Trägermedium, das Papier, ein magnetisches, elektronisches oder optisches Speichermedium, eine Fotografie, ein Bezugsmuster oder eine Kombination aus diesen sein kann.

Einwirkungen aus der Umgebung – diejenigen chemischen und physikalischen Einwirkungen, denen der Beton ausgesetzt ist und die zu Auswirkungen auf den Beton oder die Bewehrung oder das eingebettete Metall führen, die nicht als Lasten bei der konstruktiven Bemessung berücksichtigt sind.

Expositionsklasse – Klassifizierung der chemischen und physikalischen Umgebungsbedingungen, denen ein Bauteil ausgesetzt werden kann und die auf den Beton, die Bewehrung oder metallischen Einbauteile einwirken können und die nicht als Lastannahmen in die Tragwerksplanung eingehen.

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

Fertigteil – Betonbauteil, das an einem anderen Ort als dem endgültigen Ort der Verwendung (im Werk oder auf der Baustelle) hergestellt und nachbehandelt wird.

Fertigteil (Bauprodukt) – nach der relevanten europäischen Produktnorm hergestelltes Fertigteil.

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

Hersteller – Person oder Stelle, die den Frischbeton herstellt.

Am Ort der Verwendung geltende Regeln – nationale Regeln, die am Ort der Verwendung des Betons gelten und die in einem Nationalen Vorwort oder in einen Nationalen Anhang zur EN 206 oder in einer ergänzenden nationalen Norm angegeben sind.

6

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.

Selbstverdichtender Beton (SVB) – Beton der aufgrund seines eigenen Gewichts fließt und sich selbst verdichtet sowie die Schalung mit Bewehrung, Kanälen, Aussparungskästen usw. ausfüllt und dabei seine Homogenität beibehält.

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

Baustelle – Gebiet, in dem die Bauarbeiten durchgeführt werden.

Festlegung (von Beton) – endgültige Zusammenstellung dokumentierter technischer Anforderungen, die dem Hersteller als Leistung oder Zusammensetzung vorgegeben werden.

Verfasser der Festlegung – Person oder Stelle, die die Festlegung für den Frisch- und Festbeton aufstellt.

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

Verwender – Person oder Stelle, die Frischbeton zur Herstellung eines Bauwerks oder eines Bauteils verwendet.

6.1.1.2 Ausgangsstoffe

Betonzusatzstoff – Fein verteilter Stoff, der dem Beton in größeren Mengen zugegeben 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 latenthdraulische Zusatzstoffe (Typ II).

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

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.

Gesteinskörnungsgemisch – Gesteinskörnung, bestehend aus einem Gemisch grober und feiner Gesteinskörnungen mit D größer als 4 mm und mit $d=0$.

Korngruppe – Bezeichnung einer Gesteinskörnung mittels unterer (d) und oberer (D) Siebgröße, angegeben als d/D .

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.

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

Leichte Gesteinskörnung – Gesteinskörnung mineralischer Herkunft mit einer Kornrohichte (ofentrocken) $< 2000 \text{ kg/m}^3$, bestimmt nach DIN EN 1097-6, oder einer Schüttdichte (ofentrocken) $< 1200 \text{ kg/m}^3$, bestimmt nach DIN EN 1097-33.

Normale Gesteinskörnung – Gesteinskörnung mit einer Kornrohichte (ofentrocken) $> 2000 \text{ kg/m}^3$ und $< 3000 \text{ kg/m}^3$ bestimmt nach DIN EN 1097-6.

Schwere Gesteinskörnung – Gesteinskörnung mit einer Kornrohichte (ofentrocken) $\geq 3000 \text{ kg/m}^3$, bestimmt nach DIN EN 1097-6.

Wiedergewonnene gewaschene Gesteinskörnung – Gesteinskörnung, die durch Waschen von Frischbeton gewonnen wird.

Wiedergewonnene gebrochene Gesteinskörnung – Gesteinskörnung, die durch Brechen von Festbeton, der noch nicht beim Bauen verwendet wurde, gewonnen wird.

6

Rezyklierte Gesteinskörnung – Gesteinskörnung, die durch Aufbereitung von vorher beim Bauen verwendeten anorganischen Stoffen gewonnen wird.

Polymerfasern – gerade oder verformte Fasern aus extrudiertem, orientiertem oder geschnittenem Polymerstoff, die für die gleichmäßige Verteilung in einer Beton- oder Mörtelmischung geeignet sind und die im Laufe der Zeit nicht von dem hohen pH-Wert des Betons beeinflusst werden.

Stahlfasern – gerade oder geformte Fasern aus kalt gezogenem Stahldraht, gerade oder geformte zugeschnittene Einzelfasern, aus Schmelzgut hergestellte Fasern, von kalt gezogenem Draht gespannte Fasern oder aus Stahlblöcken gehobelte Fasern, die für eine homogene Einbringung in Beton oder Mörtel geeignet sind.

6.1.1.3 Frischbeton

Rührwerk – Ausrüstung, die im Allgemeinen auf einem Fahrgestell montiert mit Eigenantrieb und in der Lage ist, während des Transports Frischbeton in einem gleichmäßig gemischten Zustand zu erhalten.

Charge – die Menge Frischbeton, die entweder in einem Arbeitsspiel eines Mixers hergestellt wird oder die während 1 min von einem Durchlaufmischer ausgestoßen wird.

Kubikmeter Beton – die Menge Frischbeton, die ein Volumen von 1 m³ einnimmt, wenn er nach DIN EN 12350-6 verdichtet wird.

Ausrüstung ohne Rührwerk – Ausrüstung für den Betontransport ohne Röhren, z. B. Kipplastwagen oder Muldenfahrzeug.

Ladung – Menge des in einem Fahrzeug transportierten Betons, die aus einer oder mehreren Chargen besteht.

Blockierneigung – Neigung von Frischbeton, bei engen Öffnungen wie z.B. zwischen Bewehrungsstäben, durch Entmischung das weitere Fließen zu blockieren oder enge Öffnungen zu verstopfen.

Sedimentationsstabilität – Eigenschaft von Frischbeton, hinsichtlich der Zusammensetzung homogen zu bleiben.

Setzfließmaß – mittlerer Ausbreitdurchmesser von Frischbeton, der im Setzfließversuch bestimmt wird.

Fahrmischer – Betonmischer, der auf einem Fahrgestell mit Eigenantrieb montiert und in der Lage ist, einen gleichmäßig gemischten Beton herzustellen und auszuliefern.

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

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 30 µm Durchmesser und kugelförmiger oder nahezu kugelförmiger Gestalt.

Lufteinschlüsse – Luftporen, die unbeabsichtigt in den Beton gelangen.

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

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.

Viskosität – Fließwiderstand von Frischbeton nach Beginn des Fließens.

Wasserzementwert – Masseverhältnis des wirksamen Wassergehaltes zum Zementgehalt im Frischbeton.

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

6

6.1.1.4 Festbeton

Leichtbeton – Beton mit einer Rohdichte (ofentrocken) von nicht weniger als 800 kg/m^3 und nicht mehr als 2000 kg/m^3 . Er wird ganz oder teilweise unter Verwendung von leichter Gesteinskörnung hergestellt.

Normalbeton – Beton mit einer Rohdichte (ofentrocken) über 2000 kg/m^3 , höchstens aber 2600 kg/m^3 .

Schwerbeton – Beton mit einer Rohdichte (ofentrocken) über 2600 kg/m^3 .

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

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.

6.1.1.5 Konformität und Produktionskontrolle

Durchschlupf AOQ – Prozentsatz der unbekanntenen Verteilung unterhalb des erforderlichen charakteristischen Wertes, multipliziert mit der entsprechenden Annahmewahrscheinlichkeit dieser Verteilung bei Anwendung der festgelegten Vorgehensweise zur Konformitätsbeurteilung.

Maximaler Durchschlupf AOQL – größter durchschnittlicher Anteil unterhalb des erforderlichen charakteristischen Werts des angenommenen (bzw. ausgelieferten) Betons.

Annehmbare Qualitätsgrenze AQL-Anteil der unbekanntenen Verteilung einer betrachteten Eigenschaft, der unterhalb eines festgelegten Werts liegt und in Bezug auf die Produktion des Betons als annehmbar angesehen wird.

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

Druckfestigkeitsklasse – Klassifizierung bestehend aus der Betonart (Normal-, Schwer- oder Leichtbeton), dem Mindestwert der charakteristischen Zylinderfestigkeit (bei Zylindern von 150 mm Durchmesser und 300 mm Länge) und dem Mindestwert der charakteristischen Würfelfestigkeit (bei einer Kantenlänge von 150 mm).

Konformitätsprüfung – Prüfung, die vom Hersteller durchgeführt wird, um die Konformität des Betons nachzuweisen.

Konformitätsbewertung – Systematische Überprüfung, in welchem Umfang ein Produkt festgelegte Anforderungen erfüllt.

Identitätsprüfung – Prüfung, um zu bestimmen, ob eine gewählte Charge oder Ladung einer konformen Grundgesamtheit entstammt.

Erstprüfung – Prüfung oder Prüfungen vor Herstellungsbeginn, 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.

Nachweise – Bestätigung durch Überprüfung objektiver 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.

6.1.2 Einordnung und Zusammensetzung des Betons

Die Dauerhaftigkeit von Beton beginnt bereits bei der Planung und der Festlegung der Betonzusammensetzung. Entsprechend werden Betone gemäß DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2 in Klassen eingeteilt. Grundsätzlich kann man zwei Arten von Klassen unterscheiden:

Klassen bzgl. der Einwirkungen aus den Umgebungsbedingungen:

- Expositions- und Feuchtigkeitsklassen (Kap. 6.1.1.1), bzw.

Klassen bzgl. physikalischer Eigenschaften des Betons:

- Konsistenzklassen (Kap. 6.1.1.2),
- Druckfestigkeitsklassen (Kap. 6.1.1.3),
- Rohdichteklassen bei Leichtbetonen,
- Klassen bezogen auf das Größtkorn der Gesteinskörnung.

6

6.1.2.1 Expositionsklassen

Vorrangig ist die Einteilung nach Expositionsklassen (Tabelle 6.1), in der die Einwirkungen auf Beton- und Stahlbetonbauteile wie Karbonatisierung, Frost, Frost/Tausalz, chemischer Angriff usw. klassiert sind. Zusätzlich ist noch eine Feuchteklasse festzulegen. Die Zuordnung der Expositionsklassen sind von einem Planer festzulegen.

Je Expositionsklasse gibt DIN 1045-2 zugehörige Grenzwerte vor:

- maximaler Wasserzementwert,
- Mindestzementgehalt,
- Luftgehalt,
- Mindestfestigkeitsklasse usw.

Damit wird die Dauerhaftigkeit des Betons sichergestellt, „maßgeschneidert“ in Bezug auf die betreffenden Expositionsklassen. Richtig festgelegter, entworfener, hergestellter und verarbeiteter Beton widersteht somit den erwarteten Einwirkungen für die vorgesehene Nutzungsdauer.

Tabelle 6.1: Expositionsklassen

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
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	Füllbeton, Sauberkeitsschichten und dergleichen Fundamente ohne Bewehrung ohne Frost Innenbauteile ohne Bewehrung
2 Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung Wenn Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält, Luft und Feuchte ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden: ANMERKUNG 1: Die Feuchtebedingung 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.		
XC1	trocken oder ständig nass	Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden); Beton, der ständig in Wasser getaucht ist
XC2	nass, selten trocken	Teile von Wasserbehältern; Gründungsbauteile
XC3	mäßige Feuchte	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat, z.B. offene Hallen. Innenräume mit hoher Luftfeuchtigkeit z.B. in gewerblichen Küchen, Bädern, Wäschereien. In Feuchträumen von Hallenbädern und in Viehställen, Dachflächen mit flächiger Abdichtung, Verkehrsflächen mit flächiger unterlaufischerer Abdichtung
XC4	wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung
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	Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen; Einzelgaragen, befahrene Verkehrsflächen mit vollflächigem Oberflächenschutz
XD2	nass, selten trocken	Solebäder; Bauteile, die chloridhaltigen Industrieabwässern ausgesetzt sind
XD3	wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung; Fahrbahndecken; befahrene Verkehrsflächen mit rissvermeidenden Bauweisen ohne Oberflächenschutz oder ohne Abdichtung; befahrene Verkehrsflächen mit dauerhaftem lokalem Schutz vor Rissen

Tabelle 6.1: Expositionsklassen (Fortsetzung)

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
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	Außenbauteile in Küstennähe
XS2	unter Wasser	Bauteile in Hafenanlagen, die ständig unter Wasser liegen
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen
5 Betonkorrosion durch 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	Außenbauteile
XF2	mäßige Wassersättigung, mit Taumittel	Bauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, soweit nicht XF4; Betonbauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser
XF3	hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	offene Wasserbehälter; Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser
XF4	hohe Wassersättigung, mit Taumittel	Verkehrsflächen, die mit Taumitteln behandelt werden; überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen; Räumlerlaufbahnen von Kläranlagen; Meerwasserbauteile in der Wasserwechselzone

Tabelle 6.1: Expositionsklassen (Fortsetzung)

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen
<p>6 Betonkorrosion durch chemischen Angriff (siehe auch Tabelle 6.2)</p> <p>Wenn Beton chemischem Angriff durch natürliche Böden, Grundwasser, Meerwasser nach DIN EN 206-1, Tabelle 2, und Abwasser ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden:</p> <p>ANMERKUNG 2: Bei XA3 und unter Umgebungsbedingungen außerhalb der Grenzen von DIN EN 206-1, bei Anwesenheit anderer angreifender Chemikalien, chemisch verunreinigtem Boden oder Wasser, bei hoher Fließgeschwindigkeit von Wasser und Einwirkung von Chemikalien nach DIN EN 206-1, Tabelle 2, sind Anforderungen an den Beton oder Schutzmaßnahmen in diesen Anwendungsregeln nach 5.3.2 vorgegeben.</p> <p>ANMERKUNG 3: Grenzwerte für die Expositionsklasse XA bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser siehe Tabelle 6.2.</p>		
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung nach Tabelle 6.2	Behälter von Kläranlagen; Güllebehälter
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung nach Tabelle 6.2, und Meeresbauwerke	Betonbauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen; Bauteile in betonangreifenden Böden
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung nach Tabelle 6.2, und Meeresbauwerke	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern; Futtertische der Landwirtschaft; Kühltürme mit Rauchgasableitung
<p>7 Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung</p> <p>Wenn Beton einer erheblichen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden:</p>		
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung	Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch elastomer- oder stahlrollenbereifte Gabelstapler; Oberflächen, die häufig mit Kettenfahrzeugen befahren werden; Wasserbauwerke in geschiebelasteten Gewässern, z.B. Tosbecken

Tabelle 6.2: Grenzwerte für die Expositionsclassen XA bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser

Die folgende Klasseneinteilung chemisch angreifender Umgebungen gilt für natürliche Böden und Grundwasser mit einer Wasser-/Boden-Temperatur 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.

Chemisches Merkmal	Referenzprüfverfahren	XA1	XA2	XA3
Grundwasser				
SO ₄ ²⁻ mg/l	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 ⁴⁾	ISO 7150-1 od. 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				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ¹⁾ insgesamt	DIN EN 196-2 ²⁾	≥ 2 000 und ≤ 3 000 ³⁾	> 3 000 ³⁾ und ≤ 12 000	> 12 000 und ≤ 24 000
Säuregrad	DIN 4030-2	> 200 Baumann-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

¹⁾ Tonböden mit einer Durchlässigkeit von weniger als 10⁻⁵ m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.

- 2) Das Prüfverfahren beschreibt die Auslaugung von SO_4^{2-} durch Salzsäure; Wasser- auslaugung darf stattdessen angewandt werden, wenn am Ort der Verwendung des Betons Erfahrung hierfür vorhanden ist.
- 3) 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.
- 4) Gülle kann, unabhängig vom NH_4^+ -Gehalt, in die Expositionsklasse XA1 eingeordnet werden.

Tabelle 6.3: Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäurereaktion

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsclassen
8 Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäurereaktion		
Anhand der zu erwartenden Umgebungsbedingungen ist der Beton einer der vier nachfolgenden Feuchtigkeitsklassen zuzuordnen:		
WO	Beton, der nach normaler Nachbehandlung nicht längere Zeit feucht und nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt	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	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, Wärmeübertragerstationen, 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 ist	Bauteile mit Meerwassereinwirkung; Bauteile unter Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung (z.B. Spritzwasserbereiche, Fahr- und Stellplätze in Parkhäusern); Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken (z.B. Güllebehälter) mit Alkalisalzeinwirkung
WS	Beton, der hoher dynamischer Beanspruchung und direktem Alkali-eintrag ausgesetzt ist	Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (z.B. Betonfahrbahnen)

6.1.2.2 Konsistenzklasse

Die Konsistenz ist ein Maß für die Verarbeitbarkeit des Frischbetons. In Deutschland bevorzugte Verfahren sind das Ausbreitmaß für weichere Betone (Tabelle 6.4) sowie das Verdichtungsmaß für steifere Betone (Tabelle 6.5). Die Konsistenzklassen nach den verschiedenen Prüfverfahren sind nicht direkt vergleichbar.

Hochfester Beton muss die Konsistenzklasse F3 oder weicher aufweisen.

Für erdfeuchten Beton, d. h. Beton mit geringem Wassergehalt, der für besondere Verdichtungsverfahren entworfen wurde, wird die Konsistenz nicht klassifiziert.

Ausbreitmaße über 700 mm verlassen den Gültigkeitsbereich der DIN EN 206-1/DIN 1045-1. Dann ist die DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton (SVB)“ bzw. die jeweilige bauaufsichtliche Zulassung/Zustimmung zu beachten.

6

Tabelle 6.4: Ausbreitmaßklassen

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

Tabelle 6.5: Verdichtungsmaßklassen

Klasse	Verdichtungsmaß	Konsistenzbezeichnung
C0	$\geq 1,46$	sehr steif
C1	1,45–1,26	steif
C2	1,25–1,11	plastisch
C3	1,10–1,04	weich
C4 ¹⁾	$< 1,04$	sehr weich

¹⁾ Gilt nur für Leichtbeton.

6.1.2.3 Druckfestigkeitsklassen

Ein wesentliches Qualitätsmerkmal des Festbetons ist die Druckfestigkeit. Die Betondruckfestigkeit stellt eine Normgröße dar, lässt sich relativ einfach ermitteln und ist die Grundlage für die Einteilung in Druckfestigkeitsklassen.

Unterschieden wird in:

- Normal- und Schwebeton nach Tabelle 6.6 sowie
- Leichtbetonklassen nach Tabelle 6.7.

Für die Klassierung wird die charakteristische Festigkeit im Sinn eines unteren 5 %-Fraktilwertes herangezogen, geprüft an Zylindern mit $D/H = 150/300$ mm ($f_{ck, cyl}$) oder an Würfeln mit 150 mm Kantenlänge ($f_{ck, cube}$) im Alter von 28 Tagen. Das Referenz-Lagerverfahren ist DIN EN 12390-2 und sieht eine Feucht- bzw. Unterwasser-Lagerung bis zur Prüfung vor.

Abweichungen vom Referenz-Prüfalter sind entweder bei Anwendung der DAfStb Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ möglich oder wenn

- der Nachweis der technischen Notwendigkeit eines höheren Prüfalters gegeben ist und
- ein projektbezogener Qualitätssicherungsplan vorliegt und
- die Überwachungskategorie 2 nach DIN EN 1992-1-1/DIN 1045-3 angewendet wird und
- im Lieferverzeichnis das höhere Prüfalter ausgewiesen wird.

Tabelle 6.6: Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton

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

1) Hochfester Beton.

2) Hochfester Beton, bei dem eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich ist.

Tabelle 6.7: Druckfestigkeitsklassen für Leichtbeton

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

¹⁾ Es dürfen andere Werte verwendet werden, wenn das Verhältnis zur Referenzfestigkeit (Zylinder) festgestellt und dokumentiert ist.

²⁾ Hochfester Leichtbeton.

³⁾ Hochfester Leichtbeton, bei dem eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich ist.

Wenn nichts anderes vereinbart ist, ist die Druckfestigkeit an Probewürfeln mit 150 mm Kantenlänge und unter den Lagerungsbedingungen nach DIN EN 12390-2 Anhang NA (Trockenlagerung) zu bestimmen. Die maßgebende Druckfestigkeit nach dem Referenzverfahren von EN 12390-2 ($f_{c, cube}$) ist dann wie folgt zu berechnen:

- für Normalbeton bis einschließlich C50/60: $f_{c, cube} = 0,92 \times f_{c, dry}$
- für hochfesten Normalbeton ab C55/67: $f_{c, cube} = 0,95 \times f_{c, dry}$

Werden anstelle von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge solche mit 100 mm Kantenlänge verwendet, dann darf die Würfelgröße nach folgender Beziehung berücksichtigt werden:

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

6.1.2.4 Klassen nach Größtkorn

Die Klasseneinteilung erfolgt nach dem Nennwert des Größtkorns der größten Fraktion D_{max} im Beton, 8; 16; 22; 32 mm, vgl. Kapitel 2 „Gesteinskörnungen“, insbesondere Abschnitt 2.6.

6.1.2.5 Rohdichteklassen für Leichtbeton

DIN EN 206-1/DIN 1045-2 gilt für Leicht-, Normal- und Schwerbeton. Diese Betonarten werden nach ihrer Trockenrohddichte unterschieden.

Tabelle 6.8: Einteilung des Betons nach Leicht-, Normal- und Schwerbeton

Betonart	Rohddichte [kg/m ³]	Gesteinskörnungen
Leichtbeton	800–2 000	Blähschiefer, Blähton
Normalbeton ¹⁾	> 2 000–2 600	Sand, Kies, Splitt, Hochofenschlacke
Schwerbeton	> 2 600	Eisenerz, Eisengranulat, Schwespat

¹⁾ Wenn keine Verwechslungen mit Schwer- und Leichtbeton möglich sind, wird der Normalbeton als „Beton“ bezeichnet.

Leichtbeton wird nach seiner Rohddichte in Klassen nach Tabelle 6.9 eingeteilt. Es dürfen auch Zielwerte festgelegt werden.

Tabelle 6.9: Klasseneinteilung von Leichtbeton nach der Rohddichte

Rohdichteklasse	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Rohdichtebereich [kg/m ³]	800 und ≤ 1 000	> 1 000 und ≤ 1 200	> 1 200 und ≤ 1 400	> 1 400 und ≤ 1 600	> 1 600 und ≤ 1 800	> 1 800 und ≤ 2 000

6.1.3 Betoneigenschaften, nicht klassiert

6.1.3.1 Festigkeitsentwicklung

Für die Ermittlung der Nachbehandlungsdauer (siehe auch Kapitel 6.3.6) sind Informationen über die Festigkeitsentwicklung des Betons bei 20 °C entweder durch Werte nach Tabelle 6.10 oder durch eine Festigkeitsentwicklungskurve zwischen 2 und 28 Tagen anzugeben.

Tabelle 6.10: Festigkeitsentwicklung von Beton bei 20 °C als Verhältnis von mittlerer 2- zur 28-Tage-Festigkeit (Probekörper nach DIN EN 12390-1/-2/-3)

Festigkeitsentwicklung	Wert des Festigkeitsverhältnisses $f_{cm, 2} / f_{cm, 28}$
schnell	$\geq 0,5$
mittel	$\geq 0,3 - < 0,5$
langsam	$\geq 0,15 - < 0,3$
sehr langsam	$< 0,15$

6

6.1.3.2 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.

6.1.3.3 Wassereindringwiderstand

Betone mit hohem Widerstand gegen das Eindringen von Wasser (geprüft nach DIN EN 12390-8) müssen folgende Anforderungen erfüllen (Grenzwerte sind festzulegen!):

- Bauteildicken $> 0,40$ m $w/z \leq 0,70$
- Bauteildicken $\leq 0,40$ m $w/z \leq 0,60$ (XC4)
Mindestzementgehalt 280 kg/m^3
(bei Anrechnung von Betonzusatzstoffen min. 270 kg/m^3)
Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30

Zu beachten ist die DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)“ (siehe auch Kapitel 7.3).

6

6.1.3.4 Verschleißwiderstand

Bei Beton mit hohem Verschleißwiderstand müssen die Mindestanforderungen an die Druckfestigkeitsklasse, den Zementgehalt, den Wasserzementwert sowie an die Gesteinskörnung nach Tabelle 6.17 (Grenzwerte) und die Anforderungen an den Mehlkorngelhalt nach Tabelle 6.24 oder 6.25 eingehalten werden.

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.

Bei Expositionsklasse XM3 ist ein Einstreuen von Hartstoffen nach DIN 1100 vorzusehen.

6.1.3.5 Elastizitätsmodul (E-Modul)

Die Tabelle 6.11 gibt Rechenwerte nach DIN 1045-1 für den Elastizitätsmodul (E-Modul) von Normalbeton in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse an.

Tabelle 6.11: Mittlere Elastizitätsmodule (Rechenwerte) nach DIN 1045-1 von Normalbeton

Druckfestigkeitsklasse	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55
Mittlerer E-Modul (Rechenwert) [N/mm ²]	25.800	27.400	28.800	30.500	31.900	33.300	34.500	35.700
Druckfestigkeitsklasse	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105	C100/115	
Mittlerer E-Modul (Rechenwert) [N/mm ²]	36.800	37.800	38.800	40.600	42.300	43.800	45.200	

Es ist bekannt, dass der tatsächliche E-Modul von Beton um $\pm 10\%$ und mehr von dem Rechenwert abweichen kann, z. B. je nach Dichte der Gesteinskörnungen. Im Allgemeinen können mit den angegebenen Rechenwerten statisch unbestimmte Systeme und Verformungen der Bauteile berechnet werden. Nur bei sehr verformungssensiblen Bauwerken oder Systemen muss der genaue E-Modul bestimmt und in die Rechnung eingesetzt werden.

6.1.3.6 Brandverhalten

In den Landesbauordnungen ist der vorbeugende Brandschutz als Mindestanforderungen verankert. Oberstes Ziel ist der Schutz von Menschenleben, dem Schutz von Hab und Gut, sowie der Umweltschutz. Durch die Auswahl geeigneter Baustoffe und Bauweisen wird dazu beigetragen, dass sich Feuer nicht so schnell ausbreiten, bzw. dass Personen den Unglücksort unbeschadet verlassen können. Beton, so wie in diesem Buch beschrieben, ist ein mineralischer, nichtbrennbarer Baustoff und ist gemäß DIN EN 13501-Teil 2 in die Kategorie A1, nicht brenn- und entflammbar, eingestuft.

6.1.4 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Die DAfStb Richtlinie „Anforderungen an die Ausgangsstoffe für Beton“ ist anzuwenden. Ausgangsstoffe dürfen keine schädlichen Bestandteile in derartigen Mengen enthalten, dass diese sich nachteilig auf die Dauerhaftigkeit des Betons auswirken können oder eine Korrosion der Bewehrung verursachen. Sie müssen für die festgelegte Anwendung geeignet sein.

Tabelle 6.12: Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Ausgangsstoff	Anforderungen
Zement (vgl. Kap. 1)	nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-11, DIN 1164-12 und DIN EN 14216 Anwendungen in den Expositionsclassen vgl. Tabellen 6.18 bis 6.20
Gesteinskörnung (vgl. Kap. 2)	<ul style="list-style-type: none">– normale und schwere Gesteinskörnung mit Regelanforderungen nach DIN EN 12620– leichte Gesteinskörnung nach DIN EN 13055-1: Blähton und Blähschiefer– rezyklierte Gesteinskörnung nach DIN 4226-101 und DIN 4226-102, DAfStb-Richtlinie Rezyklierte Gesteinskörnung ist zu beachten– Auswahl der Art und Eigenschaften der Gesteinskörnung entsprechend der Verwendung, z.B. Frostwiderstand usw.– Auswahl der Korngröße der Gesteinskörnung unter Berücksichtigung der Betondeckung und der kleinsten Querschnittsmaße– Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung gemäß der in Kapitel 2.6 beschriebenen Sieblinien– nicht aufbereitete Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 darf nur für Beton der Festigkeitsklasse bis C 12/15 verwendet werden– wiedergewonnene Gesteinskörnung aus Frischbeton oder Restwasser darf verwendet werden, wenn diese die Anforderungen der DIN 12620 erfüllen

Tabelle 6.12: Anforderungen an die Betonausgangsstoffe (Forts.)

Ausgangsstoff	Anforderungen
Gesteinskörnung (vgl. Kap. 2)	<ul style="list-style-type: none"> – für die Beurteilung und Verwendung von Gesteinskörnungen, die auf Alkalien reagierende Kieselsäure enthalten, sowie für die beim Beton zu ergreifenden Maßnahmen, ist die Alkali-Richtlinie des DAfStb anzuwenden, vgl. Kapitel 2.5 – für die Herstellung von hochfestem Beton sind unbedenkliche Gesteinskörnungen zu verwenden
Zugabewasser (vgl. Kap. 5)	<ul style="list-style-type: none"> – nach DIN EN 1008 – Trinkwasser – in der Natur vorkommendes Wasser – Restwasser nach der DIN EN 1008, jedoch nicht für hochfeste und LP-Betone
Zusatzmittel (vgl. Kap. 3)	<ul style="list-style-type: none"> – Zusatzmittel nach DIN EN 934-1 und DIN EN 934-2 bzw. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
Zusatzstoffe (vgl. Kap. 4)	<p>Typ I:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gesteismehl nach DIN EN 12620 – Für die Verwendung in standsicherheitsrelevanten Bauteilen aus Stahlbeton oder Spannbeton muss für Pigmente in Lieferform (Pigmentmischungen und wässrige Pigmentpräparationen) nachgewiesen sein, dass das Pigment keine korrosionsfördernde Wirkung auf den im Beton eingebetteten Stahl hat. – Pigmente nach DIN EN 12878 müssen hinsichtlich Druckfestigkeit die Anforderungen der Kategorie B erfüllen. – Pigmente nach DIN EN 12878 müssen hinsichtlich des Gehalts an wasserlöslichen Substanzen die Anforderungen der Kategorie B erfüllen. Bei Verwendung nicht-pulverförmiger Pigmente darf der Gehalt an wasserlöslichen Substanzen bis zu 4 % Massenanteil, bezogen auf den Feststoffgehalt, betragen, vorausgesetzt, die wasserlöslichen Anteile entsprechen den Anforderungen von DIN EN 934-2.

Tabelle 6.12: Anforderungen an die Betonausgangsstoffe (Forts.)

Ausgangsstoff	Anforderungen
Zusatzstoffe (vgl. Kap. 4)	Typ I: – Pigmente mit einem Gesamtchlorgehalt von $\leq 0,10\%$ Massenanteil dürfen ohne besonderen Nachweis verwendet werden. – Pigmente der Kategorie mit deklariertem Gesamtchlorgehalt dürfen verwendet werden, wenn der höchstzulässige Chlorgehalt im Beton, bezogen auf die Zementmasse, den Anforderungswert nicht überschreitet.
Zusatzstoffe (vgl. Kap. 4)	Typ II: – Flugasche nach DIN EN 450-1 – Trass nach DIN 51043 – Silikastaub nach DIN EN 13263 – Zusatzstoffe mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
Fasern (vgl. Kap. 4)	Als geeignet gelten lose Stahlfasern nach DIN EN 14889-1, deren Konformität mit dem System der Konformitätsbescheinigung „1“ nachgewiesen worden ist. Ebenso als geeignet gelten geklebte oder in einer Dosierverpackung zugegebene Stahlfasern nach DIN EN 14889-1, wenn ihre Verwendbarkeit hinsichtlich der Lieferform durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen ist.

6.1.5 Grundanforderung an die Zusammensetzung

6.1.5.1 Grenzwerte in Abhängigkeit der Expositionsklassen

Die Anforderungen an Beton bezüglich des Widerstandes gegen die Einwirkungen der Umgebung (Expositionsklassen) werden in Grenzwerten für die Betonzusammensetzung angegeben, vgl. Tabellen 6.13 bis 6.17.

Die Anforderungen berücksichtigen eine beabsichtigte Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren. Dabei werden die richtige Planung der Expositionsklassen, die ordnungsgemäße Herstellung und Verarbeitung des Betons einschließlich der Nachbehandlung, die Einhaltung der vorgeschriebenen Betondeckung und eine angemessene Instandhaltung vorausgesetzt.

Tabelle 6.13: Grenzwerte zur Vermeidung der Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung

		Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko	Bewehrungskorrosion			
			durch Karbonatisierung verursachte Korrosion			
	Expositionsklassen	X0 ¹⁾	XC1	XC2	XC3	XC4
1	Höchstzulässiger w/z	–	0,75		0,65	0,60
2	Mindestdruckfestigkeitsklasse ²⁾	C8/10	C16/20		C20/25	C25/30
3	Mindestzementgehalt ³⁾ in kg/m ³	–	240		260	280
4	Mindestzementgehalt ³⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	–	240		240	270
5	Mindestluftgehalt in %	–	–		–	–
6	Andere Anforderungen	–	–			

1) Nur für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall.

2) Gilt nicht für Leichtbeton.

3) Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.

Tabelle 6.14: Grenzwerte zur Vermeidung der Bewehrungskorrosion durch Chloride

		Bewehrungskorrosion durch Chloride					
		Chloride außer aus Meerwasser: XD			Chloride aus Meerwasser: XS		
	Expositionsklassen	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
1	Höchstzulässiger w/z	0,55	0,50	0,45	Siehe XD1	Siehe XD2	Siehe XD3
2	Mindestdruckfestigkeitsklasse ¹⁾	C30/37 ³⁾	C35/45 ³⁾⁴⁾	C35/45 ³⁾			
3	Mindestzementgehalt ²⁾ in kg/m ³	300	320 ³⁾	320 ³⁾			
4	Mindestzementgehalt ²⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	270	270	270			
5	Mindestluftgehalt in %	–	–	–			
6	Andere Anforderungen	–					

1) Gilt nicht für Leichtbeton.

2) Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.

3) Bei Verwendung von Luftporenbeton, z.B. aufgrund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger. In diesem Fall darf Fußnote ⁴⁾ nicht angewendet werden.

4) Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. In diesem Fall darf Fußnote ³⁾ nicht angewendet werden.

Tabelle 6.15: Grenzwerte bei Frost- und Frost-Taumittelangriff

		Betonangriff					
		Frostangriff					
	Expositionsklassen	XF1	XF2		XF3		XF4
1	Höchstzulässiger w/z	0,60	0,55 ⁴⁾	0,50 ⁴⁾	0,55	0,50	0,50 ⁴⁾
2	Mindestdruckfestigkeitsklasse ¹⁾	C25/30	C25/30	C35/45 ⁶⁾	C25/30	C35/45 ⁶⁾	C30/37
3	Mindestzementgehalt ²⁾ in kg/m ³	280	300	320	300	320	320
4	Mindestzementgehalt ²⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	270	270 ⁴⁾	270 ⁴⁾	270	270	270 ⁴⁾
5	Mindestluftgehalt in %	–	3)	–	3)	–	3)5)
6	Andere Anforderungen	Gesteinskörnungen mit Regelanforderungen und zusätzlich Widerstand gegen Frost bzw. Frost und Taumittel (siehe DIN EN 12620)					
		F ₄	MS ₂₅		F ₂		MS ₁₈

- 1) Gilt nicht für Leichtbeton.
- 2) Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.
- 3) Der mittlere Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau muss bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm \geq 5,5 % Volumenanteil, 16 mm \geq 4,5 % Volumenanteil, 32 mm \geq 4,0 % Volumenanteil und 63 mm \geq 3,5 % Volumenanteil betragen. Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um höchstens 0,5 % Volumenanteil unterschreiten.
- 4) Die Anrechnung auf den Mindestzementgehalt und den w/z-Wert 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) Erdfeuchter Beton mit w/z \leq 0,40 darf ohne Luftporen hergestellt werden.
- 6) Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen. Gilt nicht für Luftporenbetone!

Tabelle 6.16: Grenzwerte bei chemischem Angriff

		Betonangriff		
		Agressive chemische Umgebung		
	Expositionsklassen	XA1	XA2	XA3
1	Höchstzulässiger w/z	0,60	0,50	0,45
2	Mindestdruckfestigkeitsklasse ¹⁾	C25/30	C35/45 ³⁾⁵⁾	C35/45 ³⁾
3	Mindestzementgehalt ²⁾ in kg/m ³	280	320	320
4	Mindestzementgehalt ²⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	270	270	270
5	Mindestluftgehalt in %	–	–	–
6	Andere Anforderungen	–	–	4)

6

- 1) Gilt nicht für Leichtbeton.
- 2) Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.
- 3) Bei Verwendung von Luftporenbeton, z.B. aufgrund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger.
- 4) Schutzmaßnahmen erforderlich, siehe DIN 1045-2, 5.3.2.
- 5) Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist an Probkörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

Tabelle 6.17: Grenzwerte bei Verschleißbeanspruchung

		Betonangriff			
		Verschleißangriff ⁴⁾			
	Expositionsklassen	XM1	XM2		XM3
1	Höchstzulässiger w/z	0,55	0,55	0,45	0,45
2	Mindestdruckfestigkeitsklasse ¹⁾	C30/37 ³⁾	C30/37 ³⁾	C35/45 ³⁾	C35/45 ³⁾
3	Mindestzementgehalt ²⁾ in kg/m ³	300 ⁵⁾	300 ⁵⁾	320 ⁵⁾	320 ⁵⁾
4	Mindestzementgehalt ²⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen in kg/m ³	270	270	270	270
5	Mindestluftgehalt in %	–	–	–	–
6	Andere Anforderungen	–	Oberflächenbehandlung des Betons ⁶⁾	–	Hartstoffe nach DIN 1100

1) Gilt nicht für Leichtbeton.

2) Bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm darf der Zementgehalt um 30 kg/m³ reduziert werden.

3) Bei Verwendung von Luftporenbeton, z.B. aufgrund gleichzeitiger Anforderungen aus der Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger.

4) Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620. Die Gesteinskörnungen bis 4 mm Größtkorn müssen überwiegend aus Quarz oder aus Stoffen mindestens gleicher Härte bestehen, das größere Korn aus Gestein oder künstlichen Stoffen mit hohem Verschleißwiderstand. Die Körner aller Gesteinskörnungen sollen mäßig raue Oberfläche und gedrungene Gestalt haben. Das Gesteinskörnungsgemisch soll möglichst grobkörnig sein.

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

6) Z. B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons.

Der Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte gilt als Nachweis der Dauerhaftigkeit des Betons. Dabei dürfen z.B. Einzelwerte des Wasserzementwertes den Grenzwert um maximal 0,02 überschreiten.

6.1.5.2 Anwendungsbereiche für Normzemente zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Die Grenzwerte der Tabellen 6.13 bis 6.17 beziehen sich auf die Verwendung von Zementen nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-11, DIN 1164-12 und DIN EN 14216. Darüber hinaus sind die Anwendungsbereiche der Zemente gemäß den Tabellen 6.18 bis 6.20 einzuhalten.

Tabelle 6.18a: Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12, DIN 1164-11 (FE-Zemente, CEM-I-SE- und CEM-II-SE-Zemente) zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2 ¹⁾

Expositions- klassen		kein Korrosions-/ An- griffs- risiko	Bewehrungskorrosion												
			durch Karbonatisierung verursachte Korrosion					durch Chloride verursachte Korrosion							
								andere Chloride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser				
			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3		
CEM I			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
CEM II	A/B	S	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	A	D	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	A/B	P/Q	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	A	V ⁹⁾	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	B		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	A	W ⁹⁾	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B		×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	A/B	T	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	A	LL	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	B		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	A	L	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	B		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	A	M ⁵⁾⁹⁾	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B		×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CEM III	A		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	B		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	C		×	○	×	○	○	○	○	×	○	○	×	○	○
CEM IV ⁵⁾⁹⁾	A		×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B		×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CEM V ⁵⁾⁹⁾	A		×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B		×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Fußnoten nach Tabelle 6.20

Tabelle 6.18b: Anwendungsbereiche für Zemente nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12, DIN 1164-11 (FE-Zemente, CEM-I-SE- und CEM-II-SE-Zemente) zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2 ¹⁾

Expositions- klassen × = gültiger Anwendungs- bereich ○ = für die Herstel- lung nach die- ser Norm nicht anwendbar			Betonangriff									Spann- stahl- ver- träglich- keit	
			Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
			XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ⁴⁾	XM1	XM2		XM3
CEM I			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
CEM II	A/B	S	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	A	D	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	A/B	P/Q	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	○
	A	V ⁹⁾	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×
	B		×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
	A	W ⁹⁾	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	A/B	T	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	A	LL	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	B		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
	A	L	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
	B		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
	A	M ⁵⁾⁹⁾	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CEM III	A		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	B		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	C		○	○	○	○	×	×	×	○	○	○	○
CEM IV ⁵⁾⁹⁾	A		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CEM V ⁵⁾⁹⁾	A		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Tabelle 6.19a: Anwendungsbereiche für CEM II-M-Zemente mit 3 Hauptbestandteilen nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12, DIN 1164-11 (FE-Zemente, und CEM-II-SE-Zemente) zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2 ¹⁾

Expositions- klassen × = gültiger Anwendungsbereich ○ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar			kein Korrosions-/Angriffsrisiko	Bewehrungskorrosion										
				durch Karbonatisierung verursachte Korrosion					durch Chloride verursachte Korrosion					
									andere Chloride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser		
				X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
CEM II	A	S-D; S-T; S-LL; D-T; D-LL; T-LL; S-V ⁹⁾ ; V-T ⁹⁾ ; V-LL ⁹⁾	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
		S-P; D-P; D-V ⁹⁾ ; P-V ⁹⁾ ; P-T; P-LL;	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	B	M	S-D; S-T; D-T; S-V ⁹⁾ ; V-T ⁹⁾	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		B	S-P; D-P; D-V ⁹⁾ ; P-T P-V ⁹⁾	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			S-LL; D-LL; P-LL; V-LL ⁹⁾ ; T-LL	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○

Fußnoten nach Tabelle 6.20

Tabelle 6.19b: Anwendungsbereiche für CEM II-M-Zemente mit 3 Hauptbestandteilen nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12, DIN 1164-11 (FE-Zemente, und CEM-II-SE-Zemente) zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2 ¹⁾

Expositions- klassen			Betonangriff									Spann- stahl- ver- träglich- keit				
			Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß						
			XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ¹⁾	XM1	XM2		XM3			
CEM II	A	S-D; S-T; S-LL; D-T; D-LL; T-LL; S-V ⁹⁾ ; V-T ⁹⁾ ; V-LL ⁹⁾	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×			
		S-P; D-P; D-V ⁹⁾ ; P-V ⁹⁾ ; P-T; P-LL;	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	× ⁶⁾		
	B	M	S-D; S-T; D-T; S-V ⁹⁾ ; V-T ⁹⁾	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
			S-P; D-P; D-V ⁹⁾ ; P-T; P-V ⁹⁾	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	× ⁶⁾	
			S-LL; D-LL; P-LL; V-LL ⁹⁾ ; T-LL	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	× ⁶⁾

Fußnoten nach Tabelle 6.20

Tabelle 6.20a: Anwendungsbereiche für Zemente CEM IV und CEM V mit zwei bzw. drei Hauptbestandteilen nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12, DIN 1164-11 (FE-Zemente) zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2¹⁾

Expositions- klassen × = gültiger Anwendungsbereich ○ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar			kein Angriffsrisiko durch Korrosion	Bewehrungskorrosion								
				durch Karbonatisierung verursachte Korrosion					durch Chloride verursachte Korrosion			
									andere Chloride als Meerwasser			Chloride aus Meerwasser
				X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1
CEM IV	B	P ⁷⁾	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	CEM V	A										
B												

6

Tabelle 6.20b: Anwendungsbereiche für Zemente CEM IV und CEM V mit zwei bzw. drei Hauptbestandteilen nach DIN EN 197-1, DIN 1164-10, DIN 1164-12, DIN 1164-11 (FE-Zemente) zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2¹⁾

Expositions- klassen × = gültiger Anwendungsbereich ○ = für die Herstellung nach dieser Norm nicht anwendbar			Betonangriff									Spannstahlverträglichkeit	
			Frostangriff				aggressive chemische Umgebung			Verschleiß			
			XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ⁴⁾	XA3 ⁴⁾	XM1	XM2		XM3
CEM IV	B	P ⁷⁾	×	○	×	○	×	×	×	×	○	○	○
	CEM V	A											
B													

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

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

- 3) CEM III/B darf nur für die folgenden Anwendungsfälle verwendet werden:
- Meerwasserbauteile $w/z \leq 0,45$; Mindestfestigkeitsklasse C35/45 und $z \geq 340 \text{ kg/m}^3$
 - Räumlerlaufbahnen $w/z \leq 0,35$; Mindestfestigkeitsklasse C40/50 und $z \geq 360 \text{ kg/m}^3$; Beachtung von DIN 19569-1.
Auf Luftporen kann in beiden Fällen verzichtet werden.
- 4) Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen bei Meerwasser) muss oberhalb der Expositionsklasse XA1 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) verwendet werden. Zur Herstellung von Beton mit hohem Sulfatwiderstand darf bei einem Sulfatgehalt des angreifenden Wassers von $\text{SO}_4^{2-} \leq 1500 \text{ mg/l}$ anstelle von SR-Zement eine Mischung aus Zement und Flugasche verwendet werden (siehe DIN 1045-2, Kap. 5.2.5.2.2 und Stellungnahme DAfStb „Sulfatangriff auf Beton“ 2-2012).
- 5) Spezielle Kombinationen können günstiger sein. Für CEM-II-M-Zemente mit drei Hauptbestandteilen s. Tabelle 6.19. Für CEM-V-Zemente mit zwei bzw. drei Hauptbestandteilen s. Tabelle 6.20.
- 6) Zemente, die natürliche Puzzolane 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.

6.1.5.3 Verwendung von Zusatzstoffen des Typ II

Zusatzstoffe des Typs II mit nachgewiesener Eignung dürfen auf den Zementgehalt und Wasserzementwert angerechnet werden. Die Eignung des unten genannten k-Wert-Ansatzes für Flugaschen und Silikastaub gilt als nachgewiesen. Der k-Wert-Ansatz erlaubt es, Flugaschen und Silikastaub zu berücksichtigen,

- durch Austausch des Begriffs „Wasserzementwert“ durch „äquivalenter Wasserzementwert“, errechnet als

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

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

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

- bei der Anrechnung auf den Mindestzementgehalt.

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

Der Mindestzementgehalt darf bei Anrechnung von Flugasche für alle Expositionsklassen auf die in den Tabellen 6.13–6.17 angegebenen „Mindestzementgehalte bei Anrechnung von Zusatzstoffen“ reduziert werden, wenn eine der folgenden Zementarten verwendet wird:

Tabelle 6.21: Zulässige Zementarten für die Zugabe von Flugasche und Silikastaub

Zulässige Zementarten ¹⁾	Flugasche	Silikastaub	Flugasche und Silikastaub	
CEM I	×	×	×	
CEM II /A-S /B-S	×	×	×	×
CEM II /A-D	×	○	○	
CEM II /A-P /B-P	×	○	×	○
CEM II /A-V	× ²⁾	×	○	
CEM II /A-T /B-T	×	×	×	×
CEM II /A-LL	×	×	×	
CEM II /A-M (...) /B-M (...)	× ²⁾ × ³⁾	× ⁴⁾ × ⁵⁾	S-T, S-LL, T-LL S-T	
CEM III /A	×	×	×	
CEM III /B	×	×	○	
	(bis max. 70 % Hüttensand)			

- 1) Für andere Zemente kann die Anwendung von Betonzusatzstoffen im Rahmen einer Bauaufsichtlichen Zulassung geregelt werden.
- 2) CEM II/A-M siehe Tabelle 6.19 mit den Hauptbestandteilen S, D, P, V, T, LL.
- 3) CEM II/B-M siehe Tabelle 6.19 mit den Hauptbestandteilkombinationen S-D, S-T, D-T.
- 4) CEM II/A-M siehe Tabelle 6.19 mit den Hauptbestandteilen S, P, V, T, LL.
- 5) CEM II/B-M siehe Tabelle 6.19 mit den Hauptbestandteilkombinationen S-T, S-V.

Tabelle 6.22: k-Wert-Ansatz bei Zugabe von Flugasche und Silikastaub

	Flugasche	Silikastaub	Flugasche und Silikastaub
Äquivalenter Wasserzementwert ¹⁾	$w/(z + 0,4 \cdot f)$	$w/(z + 1,0 \cdot s)$	$w/(z + 0,4 \cdot f + 1,0 \cdot s)$
Max. anrechenbare Zusatzstoffmenge	<ul style="list-style-type: none"> – Zemente ohne P, V, D: max. $f = 0,33$ – Zemente mit P, V: max. $f = 0,25 \cdot z$ – Zemente mit D: max. $f = 0,15 \cdot z$ 	max. $s = 0,11 \cdot z$	<ul style="list-style-type: none"> max. $f = 0,33 \cdot z$ und max. $s = 0,11 \cdot z$
Reduzierter Mindestzementgehalt nach Tabellen 6.12 bis 6.16 bei Anrechnung von Betonzusatzstoffen	$z + f \geq \text{min. } z$	$z + s \geq \text{min. } z$	$z + f + s \geq \text{min. } z$

¹⁾ Für alle Expositionsklassen darf bei Verwendung von Flugasche anstelle des w/z -Wertes nach den Tabellen 6.13 bis 6.17 $(w/z)_{\text{eq}}$ verwendet werden. Dies gilt außer für XF2 und XF4 auch für die Verwendung von Silikastaub bzw. von Flugasche plus Silikastaub.

6.1.5.4 Luftgehalt

Beton, der mit Taumitteln in Berührung kommt und Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt ist, muss zur Erzielung einer hinreichenden Widerstandsfähigkeit künstlich eingeführte Mikroluftporen in gleichmäßiger Verteilung enthalten. Tabelle 6.23 enthält die erforderlichen Mindestluftgehalte in Abhängigkeit vom Größtkorn der Gesteinskörnung.

Bei einem Frost-Taumittelangriff gemäß der Expositionsklassen XF2 und XF3 sind künstlich eingeführte Luftgehalte gemäß Tabelle 6.23 erforderlich bei w/z -Wert von 0,50 bis $\leq 0,55$. Wegen Luftporenbildner (LP) vgl. Kapitel 3.1.1.4.

Tabelle 6.23: Erforderlicher Mindestluftgehalt im Frischbeton für Betone vor dem Einbau

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

- 1) Mindestluftporengehalt im Mittel (Einzelwerte dürfen bis zu 0,5 Vol.-% niedriger sein).
- 2) Als oberer Grenzwert des Luftgehaltes gilt der Mindestluftgehalt im Mittel plus 4 % absolut.
- 3) 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.

6

6.1.5.5 Mehlkorngelalt

Der Mehlkorngelalt setzt sich zusammen aus:

- Zement,
- Feinstanteil von 0/0,125 mm der Gesteinskörnung,
- Betonzusatzstoff.

Der Mehlkorngelalt ist für Betone

- bis zur Festigkeitsklasse C50/60 und LC50/55 bei den Expositionsklassen XF und XM gemäß Tabelle 6.24,
- ab der Festigkeitsklasse C55/67 und LC55/60 bei allen Expositionsklassen nach Tabelle 6.25

zu begrenzen.

Für alle anderen Betone beträgt der höchstzulässige Mehlkorngelalt 550 kg/m³.

Tabelle 6.24: Höchstzulässiger Mehlkorngelalt für Beton bis zur Festigkeitsklasse C50/60 und LC50/55 in Abhängigkeit von den Expositionsclassen

Zementgelalt ¹⁾ [kg/m ³]	Höchstzulässiger Mehlkorngelalt [kg/m ³]		
	Expositionsclassen		
	XF, XM	XO, XC, XD, XS, XA	
	Größtkorn der Gesteinskörnung		
	8 mm	≥ 16 mm	≥ 8 mm
≤ 300	450	400 ²⁾	550
≥ 350	500	450 ²⁾	550

1) Die Werte dürfen interpoliert werden.

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

- der Zementgelalt 350 kg/m³ übersteigt, um den über 350 kg/m³ hinausgehenden Zementgelalt,
- ein puzzolanischer Zusatzstoff des Typs II verwendet wird, um dessen Gelalt.

6

Tabelle 6.25: Höchstzulässiger Mehlkorngelalt für Betone ab Betonfestigkeitsklasse C55/67 und LC55/60 bei allen Expositionsclassen

Zementgelalt ¹⁾ [kg/m ³]	Höchstzulässiger Mehlkorngelalt [kg/m ³]	
	Expositionsclassen XO, XC, XD, XS, XF, XA, XM	
	Größtkorn der Gesteinskörnung	
	8 mm	≥ 16 mm
≤ 400	550	500
450	600	550
≥ 500	650	600

1) Die Werte dürfen interpoliert werden.

6.1.5.6 Zusatzmittel

Zusatzmittel und ihre Anwendung für Beton nach dieser Norm sind in Kapitel 3 beschrieben.

Wird mehr als ein Zusatzmittel zugegeben, muss die Verträglichkeit der Zusatzmittel in der Erstprüfung nachgewiesen sein.

Betone der Konsistenzklassen $\geq S4$, $V4$ und $\geq F4$ sind mit Fließmitteln herzustellen.

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.

6

Für hochfeste Betone ist die Zugabemenge eines verflüssigenden Betonzusatzmittels auf 70 g/kg bzw. 70 ml/kg Zement 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 Zement 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/m³ Beton ist, muss die darin enthaltene Wassermenge bei der Berechnung des Wasserzementwertes berücksichtigt werden.

6.1.5.7 Chloridgehalt

Nicht nur Chloride aus Böden und Gewässern können zur Korrosion des Stahls im Beton führen, auch die wasserlöslichen Chloride aus den Bestandteilen können zu einer Korrosion der Bewehrung beitragen. Daher wird der Gehalt an Chlorid aus den Betonausgangsstoffen begrenzt.

Tabelle 6.26: Höchstzulässiger Chloridgehalt von Beton

Betonverwendung	Klasse des Chloridgehalts	max. Chlorid-Gehalt in M.-% vom Zement ¹⁾
ohne Bewehrung	Cl 1,0	1,0 %
Stahlbeton	Cl 0,40	0,40 %
Spannbeton	Cl 0,20	0,20 %

¹⁾ Einschließlich anrechenbarem Zusatzstoff.

6

Die Anforderungen der Tabelle 6.26 gelten als erfüllt mit:

- Ausgangsstoffen der geringsten Chlorideinstufung, außer:
- Gesteinskörnung mit $\leq 0,15/0,04/0,02$ M.-% Chloridgehalt je nach Verwendung: unbewehrter Beton/Stahlbeton/Spannbeton,
- bei CEM III $\leq 0,10$ M.-% für alle Betone.

Calciumchlorid und chloridhaltige Zusatzmittel dürfen Beton mit Betonstahlbewehrung, Spannstahlbewehrung oder anderem eingebetteten Metall nicht hinzugefügt werden.

6.1.5.8 Verwendung von Fasern

Lose Stahlfasern nach DIN EN 14889-1 dürfen dem Beton zugegeben werden.

Zu Bündeln geklebte Stahlfasern dürfen dem Beton nur zugegeben werden, wenn die Unschädlichkeit des Klebers durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen ist.

Stahlfasern, die dem Beton nicht lose sondern in einer Dosierverpackung zugegeben werden, bedürfen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für die Verwendung.

Stahlfasern nach DIN EN 14889-1 mit Zinküberzug dürfen für Spannbeton nicht verwendet werden. Polymerfasern nach DIN EN 14889-2 dürfen nur mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung verwendet werden.

6.1.6 Festlegung des Betons

Der Verfasser der Festlegung (der Zusammensetzung und der Eigenschaften) des Betons muss sicherstellen, dass alle relevanten Anforderungen für die Betoneigenschaften in der dem Hersteller zu übergebenden Festlegung (Mischanweisung, Ausgangsstoffe, Prüfkriterien, Grenzwerte etc.) enthalten sind. Die Festlegung muss auch alle Anforderungen an Betoneigenschaften enthalten, die für die Förderung, das Einbringen, die Verdichtung, die Nachbehandlung und/oder weitere Behandlungen erforderlich sind.

Tabelle 6.27: Übersicht der Verantwortlichkeiten 1

	Beton nach Zusammensetzung/ Standardbeton	Beton nach Eigenschaften
Planer	Verfasser der Festlegung Erstprüfung	Verfasser der Festlegung
Her- steller	Konformitätsnachweis – Kontrolle der Ausgangsstoffe – Kontrolle der Einwaagen	Erstprüfung Konformitätsnachweis/-kriterien – Druckfestigkeit – Spaltzugfestigkeit – andere Eigenschaften
Ver- wender	Prüfung der Eigenschaften ¹⁾ Bewertung durch Konformitäts- kriterien – Druckfestigkeit (Konformitätskriterium) – andere Eigenschaften (Attributprüfung)	Prüfung der Eigenschaften Bewertung der Annahme- kriterien – Druckfestigkeit (Annahmekriterium) – andere Eigenschaften (Einzelwerte)

¹⁾ Gilt nur teilweise für Standardbeton, da die Betoneigenschaften in diesem Fall nicht überprüft werden.

Tabelle 6.28: Übersicht der Verantwortlichkeiten 2

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

6

¹⁾ s. Kap. 6.4.1 Produktionskontrolle .

²⁾ s. Kap. 6.4.2 Konformitätskontrolle.

³⁾ s. Kap. 6.4.4 Bauausführung.

6.1.6.1 Festlegung für Beton nach Eigenschaften

Bei „Beton nach Eigenschaften“ sind die geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Anforderungen dem Hersteller gegenüber festzulegen. Der Hersteller konzipiert den Beton und ist dafür verantwortlich, dass der bereitgestellte Beton (Zusammensetzung, verwendete Ausgangsstoffe, erreichte Prüfergebnisse) den geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Anforderungen entspricht.

Tabelle 6.29: Probenahme von Beton nach Eigenschaften

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)		1/400 m ³ oder 1/Produktionswoche 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 die Probenahmehäufigkeit für die nächsten 35 Prüfergebnisse auf diejenige zu erhöhen, die für die Erstbewertung gefordert wird.

6.1.6.2 Festlegung für Beton nach Zusammensetzung

Bei Beton „nach Zusammensetzung“ werden die Zusammensetzung und die Ausgangsstoffe, die verwendet werden müssen, dem Hersteller vorgegeben. Der Hersteller ist für die Bereitstellung des Betons mit festgelegter Zusammensetzung, nicht aber für die erreichten Eigenschaften, verantwortlich.

Tabelle 6.30: Anforderungen an Beton nach Zusammensetzung

Grundlegende Anforderungen	Zusätzliche Anforderungen
Bezug auf DIN EN 206-1/DIN 1045-2	Herkunft von Betonausgangsstoffen, wenn die Eigenschaften nicht anders definierbar
Zementgehalt	zusätzliche Anforderungen an Gesteinskörnung
Zementart und -festigkeitsklasse	Anforderungen an Frischbetontemperatur, wenn nicht im Normbereich
Wassermengewert oder Konsistenzklasse	andere technische Anforderungen
Art/Kategorie/max. Chloridgehalt der Gesteinskörnung	
Größtkorn, ggfs. Beschränkungen der Sieblinie	
ggfs. Art/Menge der Zusatzmittel/-stoffe	
ggfs. Herkunft der Zusatzmittel/-stoffe, wenn die Eigenschaften nicht anders definierbar	

6.1.6.3 Zusammensetzung von Standardbeton

Standardbeton darf verwendet werden in den Expositionsclassen XO, XC1, XC2 bis zur Festigkeitsklasse C16/20.

Für Standardbeton gelten folgende Einschränkungen:

- Verwendung natürlicher Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620,
- keine Verwendung von Zusatzstoffen oder Zusatzmitteln,
- Mindestzementgehalte nach Tabelle 6.31,
- Zementart nach Tabelle 6.18.

Tabelle 6.31: Mindestzementgehalte für Standardbeton mit Größtkorn 32 mm und Zement der Festigkeitsklasse 32,5 nach DIN EN 197-1

Druckfestigkeitsklasse des Betons	Mindestzementgehalt ¹⁾ in kg/m ³ für die Konsistenz		
	C1	F2	F3
	steif	plastisch	weich
C8/10	210	230	260
C12/15	270	300	330
C16/20	290	320	360

¹⁾ Der Zementgehalt muss erhöht werden um

- 10 % bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 16 mm,
- 20 % bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 8 mm.

Der Zementgehalt darf um höchstens 10 % verringert werden

- bei Zement der Festigkeitsklasse 42,5,
- bei einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 63 mm.

6.1.6.4 Betone für spezielle Anwendungen

Tabelle 6.32: Besondere Betone nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

Betonanwendung	Vorschrift/ DIN/Richtlinie	Anforderungen
Unterwasserbeton	DIN 1045-2, Abschn. 5.3.4	<ul style="list-style-type: none"> – Mindestzementgehalt 350 kg/m³ bei 32 mm Größtkorn – w/z bzw. $(w/z)_{eq} \leq 0,60$ – i. A. mindestens weiche Konsistenz
Flüssigkeitsdichter Beton: Beton ohne Oberflächenabdichtung f. d. Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	DIN 1045-2, Abschn. 5.3.5	<ul style="list-style-type: none"> – Mindestfestigkeitsklasse C30/37 – w/z bzw. $(w/z)_{eq} < 0,50$ – Zementleimgehalt $\leq 290 \text{ l/m}^3$ – DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ – Größtkorn $D_{max} \leq 32 \text{ mm}$ (FDE) bzw. $16 \text{ mm} \leq D_{max} \leq 32 \text{ mm}$ (FD)
Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis 250 °C	DIN 1045-2, Abschn. 5.3.6	<ul style="list-style-type: none"> – Eignung der Gesteinskörnung für diese Beanspruchung – Verwendung von Gesteinskörnung mit geringer Temperaturdehnzahl α_t, z.B. Kalkstein, Hochofenschlacke, Basalt, Diabas, Blähton – Nachbehandlung: Mind. 7 Tage feuchthalten, danach langsame und möglichst tiefe Austrocknung vor der Inbetriebnahme – weitere Informationen siehe DAfStb-Heft 337
Hochfester Beton	DIN 1045-2, Abschn. 5.3.7	<ul style="list-style-type: none"> – Druckfestigkeitsklasse $\geq \text{C}55/67$ bzw. $\geq \text{LC } 55/60$ – für die Druckfestigkeitsklassen C90/105 und C100/115 sowie LC70/77 und LC80/88 ist eine allg. bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich – für die Überwachung dieser Betone gelten die Tab. 22–24 der EN 206-1 sowie H.1–H.3 der DIN 1045-2

Tabelle 6.32: Fortsetzung

Betonanwendung	Vorschrift/ DIN/Richtlinie	Anforderungen
Zementmörtel für Fugen (bei Fertigteilen)	DIN 1045-2, Abschn. 5.3.8	<ul style="list-style-type: none"> – Zement nach DIN EN 197-1 und DIN 1164, soweit zulässig je nach Expositionsklasse – Mindestzementgehalt 400 kg/m³ – Gesteinskörnungen gemischt-körnig, sauber, bis 4 mm

Tabelle 6.33: Besondere Betone nach anderen Regelwerken

Betonanwendung	Vorschrift/ DIN/Richtlinie	Anforderungen
Selbstverdichtender Beton	DAfStB-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“	Setzfließmaß ≥ 700 mm
Bohrpfähle	DIN EN 1536 DIN-Fachbericht 129	siehe Kapitel 7.6
Spritzbeton	DIN 18551	
Fahrbahndeckenbeton	TL-Beton StB ZTV-Beton StB	siehe Kapitel 7.7.3
Trockenbeton	DAfStb-Richtlinie	
Ortbeton Schlitzwände	DIN 4126	

6.2 Betontechnologie

6.2.1 Mischungsentwurf mit 2 Beispielen

Der Mischungsentwurf ist die Grundlage der Erstprüfung.

6.2.1.1 Die Stoffraumrechnung

Durch die Stoffraumrechnung wird festgestellt, welche Volumenanteile Zement, Wasser, Gesteinskörnung, Zusatzstoff und Luft in 1 m³ verdichtetem Beton einnehmen. Der jeweilige Stoffraum wird aus dem Gewicht und der Rohdichte der verschiedenen Einsatzstoffe ermittelt.

Berechnungsgrundlage: $\text{Stoffraum} = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Rohdichte}}$

Damit enthält 1 m³ = 1000 dm³ Beton:

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

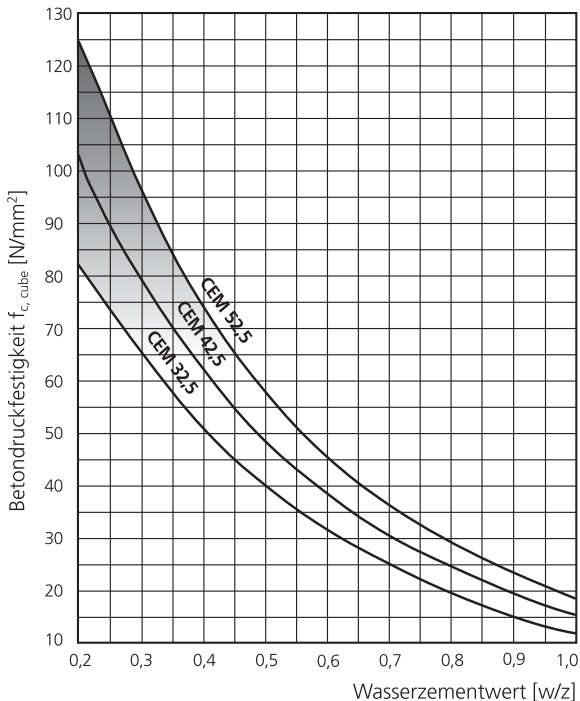
Hierin bedeuten:

z	= Zementgehalt	(kg/m ³)
w	= Wassergehalt	(kg/m ³)
g	= Gehalt Gesteinskörnung	(kg/m ³)
f	= Zusatzstoffgehalt	(kg/m ³)
p	= Luftgehalt (Porenvolumen)	(dm ³ /m ³)
ρ_z	= Dichte Zement	(kg/dm ³)
ρ_w	= Dichte Wasser	(kg/dm ³)
ρ_g	= Kornrohichte Gesteinskörnung	(kg/dm ³)
ρ_f	= Dichte Zusatzstoff	(kg/dm ³)

6.2.1.2 Beziehung zwischen w/z-Wert und Betondruckfestigkeit („Walz“-Kurven)

In dem folgenden Diagramm wird der Zusammenhang von Betondruckfestigkeit, Zementfestigkeitsklasse und w/z-Wert dargestellt.

Abb. 6.1: Würfeldruckfestigkeit des Betons $f_{c,cube}$ (150 mm, WL) nach 28 Tagen in Abhängigkeit vom w/z-Wert und der Festigkeitsklasse des Zementes



Gewählt: $w = 177 \text{ l/m}^3$, beinhaltet Reserve für Obergrenze Konsistenzklasse und Ansteifen während des Transportes.

Damit $z = w/(w/z)$
 $= 177/0,55$
 $= 320 \text{ kg/m}^3$

Einsatzstoff	Gehalt [kg/m^3]	Dichte [kg/dm^3]	Stoffraum [dm^3/m^3]
Zement z	320	3,1	103
Wasser w	177	1,0	177
Luftporen p	–	–	15
			295
Gesteinskörnung g	1861	2,64	705
Beton	2358		1000

6

Beispiel 2

Außenbauteilbeton C25/30; XC4, XF1; F3; 32 mm als Transportbeton, mit Flugasche

Anforderungen $\min z + f = 270 + 10 \text{ kg/m}^3$
 $\max w/(z + 0,4 f) = 0,60$
 $f/z \leq 0,33$

Der gleiche Ansatz: $w = 177 \text{ l/m}^3$ (vgl. Beispiel 1) und
erf. $w/z = 0,55$

führt mit $\min z = 270 \text{ kg/m}^3$ zu
 $0,55 = 177/(270 + 0,4 f)$
zu: erf. $f = 130 \text{ kg/m}^3 = 0,48 z \rightarrow$ unzulässig!

Alternative 2a): Wasseranspruch mit BV um 10 l/m^3 gemindert
 $0,55 = (177 - 10)/(270 + 0,4 f)$
erf. $f = 85 \text{ kg/m}^3 = 0,31 z \rightarrow$ zulässig!

Alternative 2b): $z = 290 \text{ kg/m}^3 > \min z$ gewählt
 $0,55 = 177/(290 + 0,4 f)$
erf. $f = 80 \text{ kg/m}^3 = 0,28 z \rightarrow$ zulässig!

Alternative 2a

Einsatzstoff	Gehalt [kg/m ³]	Dichte [kg/dm ³]	Stoffraum [dm ³ /m ³]
Zement z	270	3,1	87
Flugasche f	85	2,5	34
Wasser w	167	1	167
BV	0,81 ¹⁾		–
Luftporen p	–	–	15
			303
Gesteins- körnung g	1840	2,64	697
Beton	2362		1000

1) 0,3 % v.Z. nach Herstellerangabe oder Erfahrungswert.

6

Die **Frischbetonprüfung** ergibt,

- ob bei vorgegebenem Wassergehalt die gewünschte Konsistenz eintritt, auch über die Zeit,
- ob sich der angenommene bzw. künstliche Luftporengehalt einstellt.

Dabei ist das Erreichen der berechneten Frischbetonrohichte ein notwendiges Indiz für die Übereinstimmung von Entwurf und ausgeführtem Beton.

Die **Festbetonprüfung** ergibt,

- ob der Festigkeitsverlauf und insbesondere die 28-Tage-Festigkeit den Anforderungen genügen.

In den beiden Beispielen für Außenbauteil-Betone werden für die 28-Tage-Festigkeiten erwartet:

- in der Erstprüfung: $f_{c, \text{cube}} \geq 36 \text{ N/mm}^2$
- im Konformitätsnachweis erforderlich:
 - bei Ersterstellung: im Mittel $\geq 34 \text{ N/mm}^2$
im Einzel $\geq 26 \text{ N/mm}^2$
 - bei stetiger Herstellung: im Mittel $\geq 30 + 1,48 \cdot \sigma$
 $\geq 34,4 \text{ N/mm}^2$ ($\sigma = 3,0$)
im Einzel $\geq 26 \text{ N/mm}^2$

Das sehr niedrige „Vorhaltemaß“ zwischen erwarteter Druckfestigkeit in der Erstprüfung (36 N/mm²) und der mittleren Festigkeit f_{cm} in der Produktion (34,4 N/mm²) kann z.B. durch ausreichend sicher bemessenen Wassergehalt ausgeglichen werden.

6.2.2 Ermittlung der Frischbetontemperatur

Die Frischbetontemperatur wird bestimmt durch die Temperatur der Ausgangsstoffe und deren Wärmekapazität: $Q = \text{Masse je m}^3 \times \text{spezifische Wärme}$.

Die spezifische Wärme c (kJ/kg K) ist näherungsweise anzusetzen: Für alle mineralischen Ausgangsstoffe wie z.B. Zement und Gesteinskörnung

$$c_m = 0,84 \dots 1,05 \text{ kJ/kg K (0,20 \dots 0,25 kcal/kg K)}$$

Für Wasser $c_w = 4,19 \text{ kJ/kg K (1,00 kcal/kg K)}$

Daraus ergibt sich: $c_w/c_m \sim 5$

Für die rechnerische Ermittlung der Frischbetontemperatur T_b gilt:

$$T_b = \frac{z \cdot T_z + g \cdot T_g + 5 \cdot w \cdot T_w}{z + g + 5 \cdot w}$$

z, g, w = Masse in kg/m³ von Zement, Gesteinskörnung und Wasser

T_b, T_z, T_g, T_w = Temperatur in °C von Frischbeton, Zement, Gesteinskörnung und Wasser

Die Wärmekapazität von 1 m³ Normalbeton beträgt:

$$\begin{aligned} c_b \cdot \varrho_b &\cong (z + g + 5 \cdot w) \cdot c_m \cong (300 + 1875 + 5 \cdot 180) \cdot 0,84 \\ &\cong 2580 \text{ kJ/m}^3\text{K (615 kcal/m}^3\text{K)} \end{aligned}$$

Temperaturunterschiede von 10 K verändern die Frischbetontemperatur:

- bei 300 kg/m³ Zement: um $\Delta T_b = 1 \text{ K}$
- bei 1875 kg/m³ Gesteinskörnung: um $\Delta T_b = 6 \text{ K}$
- bei 180 kg/m³ Wasser: um $\Delta T_b = 3 \text{ K}$

Im vorgenannten Beispiel wurde mit trockener Gesteinskörnung gerechnet. Der Einfluss von feuchter Gesteinskörnung ist höher, entsprechend der Einfluss von Zugabewasser geringer.

6.2.3 Ermittlung der Festbetontemperatur

Die sich im Kern eines Bauteiles ergebende Festbetontemperatur ist im Wesentlichen abhängig von dem Zementgehalt, der Hydratationswärme des Zementes, der Frischbetontemperatur, dem Wassergehalt, der Bauteildicke und den Abkühlungsbedingungen.

Die Zeit bis zum Temperaturmaximum im Kern eines Bauteiles kann überschlägig wie folgt berechnet werden:

$$d \leq 3,50 \text{ m} \quad t_{\max} = d + 0,5 \text{ (Tage)}$$

$$d > 3,50 \text{ m} \quad t_{\max} = d + 1,0 \text{ (Tage)}$$

Hierin bedeuten: d = Dicke des Bauteiles in m

t_{\max} = Zeit bis zum Erreichen des Temperaturmaximums im Kern des Bauteiles in Tagen

Die mögliche Temperatur im Kern des Bauteiles ($T_{b, \max}$) ergibt sich wie folgt:

$$T_{b, \max} = T_b + \Delta T_{b, \max}$$

Hierin bedeuten: T_b = Frischbetontemperatur in °C

ΔT_b = Temperaturanstieg im Kern durch Hydratation

Der sich im Kern ergebende Temperaturanstieg durch Hydratation kann mit folgender Gleichung überschlägig ermittelt werden:

$$\Delta T_{b, \max} = \frac{z \cdot H_{t_{\max}}}{Q_{\text{Beton}}}$$

Mit: Q_{Beton} = Wärmekapazität/(m³ Beton) in kJ/(m³K)

$$Q_{\text{Beton}} = z \cdot c_z + w \cdot c_w + g \cdot c_g$$

$H_{t_{\max}}$ = Hydratationswärme des Zementes in kJ/kg

Beispiel

Gegeben: $z = 300 \text{ kg/m}^3$ CEM III/A 32,5 N, $w = 180 \text{ kg/m}^3$,

$$g = 1875 \text{ kg/m}^3$$

$$T_b = 20 \text{ °C}, d = 2,0 \text{ m}$$

Gesucht: Maximaltemperatur $T_{b, \max}$ im Kern des Bauteiles

Ergebnis: 1. Zeitpunkt des Temperaturmaximums:

$$t_{\max} = 2,0 + 0,5$$

$$t_{\max} = 2,5 \text{ Tage}$$

2. Es kann aufgerundet mit 3 Tagen gerechnet werden. Damit kann sich für einen CEM III/A 32,5 N folgende Hydrationswärme ergeben, vgl. Tabelle 1.5:

$$H_{t_{\max}} = 200 \text{ kJ/kg}$$

3. Wärmekapazität Q_{Beton} :

$$Q_{\text{Beton}} = z \cdot c_z + w \cdot c_w + g \cdot c_g$$

$$Q_{\text{Beton}} = 300 \cdot 0,84 + 180 \cdot 4,19 + 1875 \cdot 0,84$$

$$Q_{\text{Beton}} \cong 2580 \text{ kJ(m}^3 \text{ K)}$$

4. Temperaturanstieg im Kern:

$$\Delta T_{b, \max} = \frac{z \cdot H_{t_{\max}}}{Q_{\text{Beton}}}$$

$$\Delta T_{b, \max} = \frac{300 \cdot 200}{2580}$$

$$\Delta T_{b, \max} = 23 \text{ K}$$

5. Zu erwartende Kerntemperatur:

$$T_{b, \max} = T_b + \Delta T_{b, \max}$$

$$T_{b, \max} = 20 + 23$$

$$T_{b, \max} = 43 \text{ }^\circ\text{C}$$

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, umso besser.

Für das Beispiel bedeutet dies, dass die Oberflächentemperatur am dritten Tag $\geq 28 \text{ }^\circ\text{C}$ betragen muss. Dies ist z.B. durch Abdecken mit wärmedämmendem Material realisierbar.

6.3 Beton herstellen, liefern, verarbeiten, nachbehandeln

6.3.1 Bezeichnung für Beton nach Eigenschaften

Bei „Beton nach Eigenschaften“, nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2, sind die geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Anforderungen dem Hersteller gegenüber festzulegen. Der Hersteller konzipiert den Beton und ist dafür verantwortlich, dass der bereitgestellte Beton den geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Anforderungen entspricht.

Die Erfüllung der Anforderungen dieser Norm an den Beton wird durch ein Überwachungszertifikat einer anerkannten Zertifizierungsstelle bestätigt.

Der Verfasser der Festlegung des Betons muss sicherstellen, dass alle relevanten Anforderungen für die Betoneigenschaften in der dem Hersteller zu übergebenden Festlegung enthalten sind. Die Festlegung muss auch alle Anforderungen an Betoneigenschaften enthalten, die für die Förderung und das Einbringen, die Verdichtung, die Nachbehandlung oder weitere Behandlungen erforderlich sind.

Der Kunde ermittelt seinen Bedarf und bestellt **Beton nach Eigenschaften gemäß DIN EN 206-1/DIN 1045-2** (in Preislisten der Transportbetonwerke so gekennzeichnet).

Die wesentlichen Eigenschaften des Betons nach dieser Norm werden mit folgenden Angaben festgelegt:

Grundlegende Anforderungen

- Bezug auf DIN EN 206-1/DIN 1045-2,
- Druckfestigkeitsklasse (gegebenenfalls von 28 Tagen abweichender Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit),
- Expositionsklasse (siehe Abschnitt 6.1.1.1 hinsichtlich der Abkürzung),
- Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung,
- Art der Verwendung des Betons (unbewehrter Beton, Stahlbeton, Spannbeton) oder Klasse des Chloridgehalts,
- Rohdichteklasse oder Zielwert der Rohdichte (bei Leichtbeton),
- Zielwert der Rohdichte (bei Schwerbeton),
- Konsistenzklasse oder, in besonderen Fällen, Zielwert der Konsistenz.

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 Hydrationswärme),
- besondere Arten oder Klassen von Gesteinskörnungen ¹⁾,
- erforderliche Eigenschaften für den Widerstand gegen Frosteinwirkung (z. B. Luftgehalt ²⁾),
- Anforderungen an die Frischbetontemperatur,
- Festigkeitsentwicklung,
- Wärmeentwicklung während der Hydratation,
- verzögertes Ansteifen,
- Wassereindringwiderstand,
- Abriebwiderstand,
- Spaltzugfestigkeit,
- andere technische Anforderungen (z. B. Anforderungen bezüglich des Erzielens einer besonderen Oberflächenbeschaffenheit oder bezüglich besonderer Einbringverfahren).

¹⁾ In diesen Fällen ist der Verfasser der Festlegung für die Betonzusammensetzung zur Vermeidung schädlicher Alkali-Kieselsäure-Reaktionen verantwortlich.

²⁾ Bei der Festlegung des Luftgehalts 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.

Informationen des Betonherstellers für den Verwender

Auf Anfrage gibt der Hersteller vor Lieferung folgende Informationen:

- Art und Festigkeitsklasse des Zements,
- Art der Gesteinskörnung,
- Art der Zusatzmittel, ggfs. Art und Gehalt der Zusatzstoffe,
- Zielgröße des Wasserzementwertes,
- Ergebnisse vorangegangener Prüfungen des Betons,
- Festigkeitsentwicklung,
- Herkunft der Ausgangsstoffe,
- bei Fließbeton: Konsistenzklasse oder Zielwert der Konsistenz vor Zugabe des Fließmittels.

6

Der Hersteller muss den Verwender entsprechend der gesetzlichen Regelungen auf Gesundheitsrisiken beim Umgang mit Frischbeton aufmerksam machen.

6.3.2 Lieferumfang und Produktpalette Dyckerhoff Beton

Höchste Ansprüche an Qualität, Nutzbarkeit und Ästhetik gehen einher mit dem Wunsch nach kurzen Bauzeiten, rationellen Verarbeitungsmethoden und einem optimalen Materialeinsatz. Dyckerhoff Beton wird diesen Ansprüchen gerecht mit einem modernen Baustoff von schier unbegrenzter Anwendungsvielfalt – mit Beton, genauer gesagt: Transportbeton.

In den Transportbetonwerken entstehen Betone verschiedener Eigenschaften und Druckfestigkeitsklassen, auf den jeweiligen Anwendungsfall hin optimiert. Auf diese Weise erhalten unsere Kunden eine ihren Erfordernissen entsprechende, überwachte und gleichbleibend gute Qualität zur richtigen Zeit an der richtigen Stelle.

Dyckerhoff Beton stellt als kompetenter Frischbeton-, Estrich- und Frischmörtel-Spezialist mit kontinuierlicher Produktion und Qualitätssicherung ein umfangreiches Angebot zur Verfügung, darüber hinaus Spezialbaustoffe auf Anfrage sowie Normal-, Schwer- und Leichtbetone oder auch Betone mit besonderen Eigenschaften wie:

- Wasserundurchlässiger Beton,
- Beton mit hohem Frostwiderstand (XF1 und XF3),
- Beton mit hohem Frost- und Tausalzwidehrstand (XF2 und XF4),
- Beton mit hohem Widerstand gegen chemischen Angriff (XA1 bis XA3)*,
- Beton mit hohem Verschleißwiderstand (XM1 bis XM3)*,
- Beton für Unterwasserschüttung (Unterwasserbeton),
- Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis 250 °C,
- Betone beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen,
- Bohrpfahlbeton,
- Stahlfaserbeton mit Leistungsklassen: Dyckerhoff FERRODUR,
- Beton für Hallenböden,
- Fließbeton,
- Leichtverdichtbarer Beton: Dyckerhoff FLUIDUR,
- Selbstverdichtender Beton: Dyckerhoff LIQUIDUR,
- Hochfester Beton: Dyckerhoff VERIDUR,
- Schnell erhärtender Beton: Dyckerhoff VELODUR,
- Architekturbeton (farbiger Beton, Sichtbeton),
- Betone nach ZTV-ING und ZTV-W,
- Betone nach TL-Beton,
- Baustoffgemische für hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT),
- Drän- und Bankettbeton: Dyckerhoff REWADUR,
- Quellbeton,
- Bereitstellungsgemische für Spritzbeton,
- Porenleichtbeton: Dyckerhoff AERODUR HB,
- Vergussbetone,

* bauseitige Maßnahmen notwendig

sowie

- Zementestrich,
- Anhydritfließestrich: Dyckerhoff ESTRIFLOOR CA,
- Werk-Frischmörtel: Normal- und Leichtmauermörtel,
- Flüssigboden: Dyckerhoff CANADUR,
- Verfüllmassen: Dyckerhoff AERODUR TB, DÄMMER.

6.3.3 Bestellung und Disposition

Der Verwender des Betons muss dem Hersteller bei der Bestellung alle erforderlichen Festlegungen (vgl. Kapitel 6.3.1) angeben. Außerdem ist mit dem Hersteller Lieferdatum, Uhrzeit, Menge und Abnahmege-
6schwindigkeit zu vereinbaren und der Hersteller ist ggf. über einen besonderen Transport auf der Baustelle, besondere Einbauverfahren (z. B. Förderlänge oder -höhe für Pumpenleitungen, Kübeleinbau) und Beschränkungen bei den Lieferfahrzeugen (z. B. Art, Größe, Höhe, Brutgewicht) zu informieren.

Vor der Bestellung sollte sich der Verwender des Betons zu Angaben informieren, die sowohl sachgerechtes Einbringen und Nachbehandeln des Frischbetons als auch die Abschätzung der Festigkeitsentwicklung erlauben. Solche Angaben stellt der Hersteller des Betons auf Anfrage vor der Lieferung in zweckmäßiger Form zur Verfügung (z. B. Preisliste, Sortenverzeichnis, siehe Webseite).

Dyckerhoff Beton übernimmt für die Baustelle alle logistischen und organisatorischen Aufgaben wie:

- Auswahl, Vorhalten und Verarbeiten der geeigneten Ausgangsstoffe,
- Betonentwurf, Erstprüfung und Konformitätsnachweis.

Wir helfen unseren Kunden bei der Auswahl des richtigen Betons für ihre Bauaufgabe.

Checkliste für die Bestellung von Beton nach Eigenschaften

Bei der Bestellung legen wir Wert auf möglichst weitgehende Vollständigkeit folgender Angaben, damit unsere Kunden für die jeweilige Anwendung den optimalen Beton erhalten:

Beispiel:

„**Stahlbeton mit hohem Frost- und Tausalzwidehrstand**“

Grundlegende Anforderungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2:

- Druckfestigkeitsklasse: z. B. **C30/37, mit LP**,
- Expositionsklasse: z. B. **XC4, XD3, XF4, XM2**,
- Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung: z. B. **16 mm**,
- Art der Verwendung des Betons oder Klasse des Chloridgehalts (Stahlbeton: Cl 0,40): z. B. **Stahlbeton**,
- Konsistenzklasse: z. B. **F4**,
- für Leicht- und Schwerbeton: Rohdichteklasse oder Zielwert der Rohdichte.

Zusätzliche Anforderungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2:

- besondere Arten oder Klassen von Zement: z. B. **Zement mit niedriger Hydratationswärme (LH)**,
- besondere Arten oder Klassen von Gesteinskörnungen: z. B. **Splitt**,
- erforderliche Eigenschaften für den Widerstand gegen Frosteinwirkung: z. B. **Luftgehalt**,
- Anforderungen an die Frischbetontemperatur,
- Festigkeitsentwicklung des Betons: z. B. **mittel**,
- verzögertes Abbinden,
- Wassereindringwiderstand,
- Spaltzugfestigkeit.

Allgemeine Angaben:

- Anschrift der Baustelle (auch Telefonnummer und verantwortlicher Ansprechpartner),
- Bauteil,
- exakter Übergabeort (Krannummer oder Pumpe) – Lieferdatum, Uhrzeit und Menge,
- Abnahmegeschwindigkeit.

Hinweise auf Besonderheiten:

- Einbauverfahren (Pumpe, Kübel, Fertiger etc.),
- Beschränkungen für das Lieferfahrzeug (z.B. Typ, Größe, Höhe oder Gesamtgewicht),
- Transport auf der Baustelle.

6

6.3.4 Herstellung

Die zielsichere Herstellung des Transportbetons erfolgt in unseren modernen, qualitätsgesicherten und umweltfreundlichen Transportbetonwerken.

Mischen des Betons

Das Dosieren der Art und Menge der Ausgangsstoffe erfolgt nach einer dokumentierten Mischanweisung. Die Toleranz für das Dosieren darf für alle Betonmengen über 1 m³ (DT2) höchstens $\pm 3 \%$ der erforderlichen Menge betragen.

Die Ausgangsstoffe müssen in einem Mischer solange gemischt werden, bis die Mischung gleichförmig erscheint. Im Allgemeinen sollten für eine gleichmäßige Durchmischung die nachfolgend genannten Mischzeiten eingehalten werden:

- für Normalbeton mindestens 30 Sekunden,
- für LP-Beton mindestens 45 Sekunden,
- für Leichtbeton mindestens 90 Sekunden.



Abb. 6.2: Transportbetonwerk

6.3.5 Lieferung und Konsistenz

Dyckerhoff Beton liefert bedarfsgerecht den vom Verarbeiter bestellten Beton

- nach Betoneigenschaften wie Verarbeitbarkeit, Festigkeitsklasse und Festigkeitsentwicklung, Expositionsklassen und ggf. besonderen Eigenschaften,
- zum vereinbarten Anlieferungspunkt, in vereinbarter Gesamtmenge und Lieferleistung,
- bei Anlieferung direkt auf die Baustelle, auf Wunsch auch mittels Betonpumpe bis unmittelbar zur Einbaustelle.

Den einbaufertigen Beton liefern wir zielsicher mit den bestellten Frisch- und Festbetoneigenschaften in eigen- und fremdüberwachter Qualität.

Dyckerhoff Beton stellt sein Know-how, seine anlagentechnischen und logistischen Fähigkeiten in den Dienst des Verarbeiters und übernimmt damit einen wichtigen Anteil am technisch richtigen und wirtschaftlichen Bauen mit Beton. Dyckerhoff Beton vereinfacht ihren Kunden den Ablauf auf der Baustelle.

6



Abb. 6.3: Baustelle Verwaltungsgebäude ENERCON

Lieferschein für Transportbeton

Vor Entladen des Betons muss der Hersteller dem Verwender einen Lieferschein für jede Betonladung übergeben, auf dem mindestens folgende Angaben enthalten sind:

- Adresse des Transportbetonwerkes – Lieferscheinnummer,
- Datum und Uhrzeit der Beladung – Kennzeichen des LKW,
- Name des Käufers,
- Bezeichnung und Lage der Baustelle,
- Einzelheiten oder Verweise auf die Festlegung, z. B. Abrufnummer im Sortenverzeichnis, Artikelnummer,

- Menge des Betons in Kubikmeter,
- bauaufsichtliches Übereinstimmungszeichen mit Bezug auf DIN EN 206-1/DIN 1045-2,
- Name oder Zeichen der Zertifizierungsstelle,
- Zeitpunkt des Eintreffens des Betons auf der Baustelle – Zeitpunkt des Beginns des Entladens,
- Zeitpunkt des Beendens des Entladens.

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

- Zeitpunkt der Zugabe,
- zugegebene Menge des Fließmittels,
- geschätzte Betonmenge in der Mischtrommel vor der Zugabe.

Zusätzlich muss der Lieferschein bei Beton nach Eigenschaften folgende Einzelheiten enthalten:

- Festigkeitsklasse,
- Expositionsklasse(n),
- Art der Verwendung des Betons oder die Klasse des Chloridgehalts,
- Konsistenzklasse,
- Größtkorn,
- Grenzwerte der Betonzusammensetzung, wenn andere als nach Norm vereinbart,
- Art und Festigkeitsklasse des Zementes,
- Art der Zusatzmittel und Zusatzstoffe,
- ggfs. besondere Eigenschaften,
- Rohdichteklasse oder Zielwert von Leicht-/Schwerbeton,
- Festigkeitsentwicklung des Betons.

Für hochfesten Beton sind noch weitere Angaben erforderlich.

Konsistenz bei Lieferung

Die Konsistenz des Betons ist zum Zeitpunkt der Verwendung maßgebend, bei Transportbeton ist dies die Übergabe auf der Baustelle.

Im Allgemeinen ist jede Zugabe von Zusatzmitteln bei Lieferung verboten. In besonderen Fällen darf die Konsistenz unter der Verantwortung des Herstellers durch die Zugabe von Zusatzmitteln auf den festgelegten Wert gebracht werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Grenzwerte nicht überschritten werden und dass die Zugabe von Zusatzmitteln im Betonentwurf vorgesehen ist.

Eine nachträgliche Wasserzugabe ist nicht erlaubt, es sei denn, diese ist planmäßig vorgesehen. Dabei gelten folgende Bedingungen:

- die Gesamtwassermenge und die nachträglich noch zugebbare Wassermenge nach Erstprüfung müssen auf dem Lieferschein angegeben sein,
- der Fahrmischer muss mit einer geeigneten Dosiereinrichtung ausgestattet sein,
- die Dosiergenauigkeit von $\pm 3 \%$ ist einzuhalten,
- die Proben für die Produktionskontrolle sind nach der letzten Wasserzugabe zu entnehmen.

6

Transport von Beton zur Baustelle

Frischbeton steifer Konsistenz darf mit Fahrzeugen ohne Rührwerk transportiert werden. Das Material der Ladeflächen darf nicht mit dem Beton reagieren.

Frischbeton anderer als steifer Konsistenz darf nur in Fahrmischern zur Verwendungsstelle transportiert werden. Der Beton ist unmittelbar vor dem Entladen so durchzumischen, dass er gleichmäßig durchmischt auf der Baustelle übergeben wird.

Fahrmischer sollten 90 Minuten nach der ersten Wasserzugabe zum Zement, Fahrzeuge ohne Mischer oder Rührwerk für die Beförderung von Beton steifer Konsistenz 45 Minuten nach Wasserzugabe vollständig entladen sein.

Beschleunigtes oder verzögertes Erstarren infolge von Witterungseinflüssen ist zu berücksichtigen. Wenn durch Zugabe von Zusatzmitteln die Verarbeitbarkeitszeit des Betons um mindestens 3 Stunden verlängert wurde, gilt die DAfStb-Richtlinie „Verzögerter Beton“.

6.3.6 Frischbetontemperatur und Nachbehandlung

Die Frischbetontemperatur darf zum Zeitpunkt der Lieferung nicht unter 5 °C liegen.

Anforderungen für abweichende Mindest- oder Höchsttemperaturen für Frischbeton sind mit zulässigen Abweichungen zu vereinbaren. Ebenso muss künstliches Kühlen oder Erwärmen des Betons vor der Lieferung zwischen Hersteller und Verwender vereinbart werden.

Tabelle 6.34: Mindesttemperaturen des Frischbetons beim Einbau

Lufttemperatur [°C]	Mindesttemperatur des Frischbetons beim Einbau [°C]
+5 bis -3	+ 5 allgemein +10 bei Zementgehalt < 240 kg/m ³ oder bei LH-Zementen
unter -3	+10 und Halten dieser Temperatur wenigstens 3 Tage ¹⁾

¹⁾ Durchfrieren des Beton i. d. R. nach 3 Tagen bei 10 °C oder mit einer Druckfestigkeit $\geq 5 \text{ N/mm}^2$ zulässig.

Die Frischbetontemperatur darf i. A. 30 °C nicht überschreiten, sofern nicht durch Maßnahmen sichergestellt ist, dass keine nachteiligen Folgen zu erwarten sind.

Nachbehandlung des Betons

Während der ersten Tage der Hydratation ist der Beton nachzubehandeln, um

- Frühschwinden gering zu halten,
- eine ausreichende Festigkeit und Dauerhaftigkeit der Betonrandzone sicherzustellen,
- Gefrieren zu verhindern,
- schädliche Erschütterungen, Stoß oder Beschädigung zu vermeiden.

Die Nachbehandlungsverfahren müssen sicherstellen, dass ein übermäßiges Verdunsten von Wasser über die Betonoberfläche verhindert wird.

Die Nachbehandlungsdauer hängt von der Entwicklung der Betoneigenschaften in der Betonrandzone 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 Forderung ist in Tabelle 6.35 in eine entsprechende Mindestdauer der Nachbehandlung umgesetzt. Ein genauer Nachweis ist möglich.

Bei Umweltbedingungen, die den Expositionsklassen X0 und XC1 nach DIN 1045-2 entsprechen (z. B. Bauteile ohne Bewehrung, Innenbauteile), muss der Beton mindestens einen halben Tag nachbehandelt werden. Bei mehr als 5 h 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.

6

Für 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 Tabelle 6.35 zu verdoppeln.

Für die Expositionsklassen XC2, XC3, XC4 und XF1 können anstelle der Werte von Tabelle 6.35 die erforderlichen Nachbehandlungsdauern nach Tabelle 6.36 festgelegt werden. Bei Verwendung einer Stahlschalung oder bei Betonbauteilen mit ungeschalteten Oberflächen darf Tabelle 6.36 nur angewendet werden, wenn ein übermäßiges Auskühlen des Betons im Anfangsstadium der Erhärtung durch entsprechende Schutzmaßnahmen ausgeschlossen wird.

Tabelle 6.35: Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton bei den Expositionsklassen nach DIN 1045-2 außer X0, XC 1 und XM in Abhängigkeit der Oberflächentemperatur

Nr.	1	2	3	4	5
Oberflächen- temperatur ϑ [°C] ⁵⁾		Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen ¹⁾			
		Festigkeitsentwicklung des Betons ³⁾ $r = f_{cm2}/f_{cm28}$ ⁴⁾			
		schnell	mittel	langsam	sehr langsam
		$r \geq 0,50$	$r \geq 0,30$	$r \geq 0,15$	$r < 0,15$
1	$\vartheta \geq 25$	1	2	2	3
2	$25 > \vartheta \geq 15$	1	2	4	5
3	$15 > \vartheta \geq 10$	2	4	7	10
4	$10 > \vartheta \geq 5$ ²⁾	3	6	10	15

- 1) Bei mehr als 5 h Verarbeitbarkeitszeit ist die Nachbehandlungsdauer angemessen zu verlängern.
- 2) Bei Temperaturen unter 5 °C ist die Nachbehandlungsdauer um die Zeit zu verlängern, während der die Temperatur unter 5 °C lag.
- 3) 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.
- 4) Zwischenwerte dürfen ermittelt werden.
- 5) Anstelle der Oberflächentemperatur des Betons darf die Lufttemperatur angesetzt werden.

Tabelle 6.36: Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton bei den Expositionsclassen XC2, XC3, XC4 und XF1 nach in Abhängigkeit der Frischbetontemperatur

Nr.	1	2	3	4
Frischbetontemperatur ϑ_{fb} zum Zeitpunkt des Betoneinbaus [°C]	Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen ¹⁾			
	Festigkeitsentwicklung des Betons ²⁾ $r = f_{cm2}/f_{cm28}$ ³⁾			
		schnell	mittel	langsam
		$r \geq 0,50$	$r \geq 0,30$	$r \geq 0,15$
1	$\vartheta_{fb} \geq 15$	1	2	4
2	$10 \leq \vartheta_{fb} < 15$	2	4	7
3	$5 \leq \vartheta_{fb} < 10$	4	8	14

- 1) Bei mehr als 5 h 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 ermittelt werden.

Als Nachbehandlungsverfahren gelten in der Regel:

- Belassen in der Schalung,
- Abdecken der Betonoberfläche mit dampfdichten Folien,
- Auflegen von wasserspeichernden Abdeckungen,
- Aufrechterhaltung von sichtbaren Wasserfilmen,
- Anwendung von Nachbehandlungsmitteln mit nachgewiesener Eig-nung.

6.4 Prüfen von Beton

6.4.1 Werkseigene Produktionskontrolle

Die werkseigene Produktionskontrolle liegt im Verantwortungsbereich des Herstellers und umfasst sämtliche 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.

Das System der werkseigenen Produktionskontrolle muss vom Hersteller in einem Handbuch dokumentiert und durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle bestätigt werden.

Die werkseigene Produktionskontrolle liegt im Verantwortungsbereich der Geschäftsführung. Sie muss sich mindestens alle 2 Jahre von der Wirksamkeit des Systems überzeugen.

Für jede neue Betonzusammensetzung muss eine Erstprüfung durchgeführt werden. Sofern Langzeiterfahrungen für ähnliche Betone oder Betonfamilien vorliegen, ist dies nicht erforderlich. Für das Aussteuern der Frisch- und Festbetoneigenschaften darf die Betonzusammensetzung jedoch innerhalb nachfolgender Grenzen variieren:

- Zementgehalt: $\pm 15 \text{ kg/m}^3$,
- Flugaschegehalt: $\pm 15 \text{ kg/m}^3$,
- Zusatzmittel: zwischen 0 und Höchstdosierung (Herstellerangaben beachten!).

6.4.2 Konformitätskontrolle

Die Konformitätskontrolle zum Nachweis der Übereinstimmung des Betons mit den Festlegungen ist mit allen erforderlichen Maßnahmen und Entscheidungen ein integraler Bestandteil der Produktionskontrolle („Werkseigene Produktionskontrolle“).

Bei Beton nach Eigenschaften obliegt dem Hersteller der Nachweis der Konformität des Betons mit den festgelegten und bestellten Eigenschaften.

Bei Beton nach Zusammensetzung führt der Verwender den Nachweis der Konformität des Betons. Der Hersteller muss lediglich die vom Verwender vorgegebene Zusammensetzung des Betons nachweisen.

6.4.2.1 Probenahme- und Prüfplan

6

Betonproben müssen zufällig ausgewählt und entnommen werden. Die Mindesthäufigkeit der Probenahme und der Prüfung von Beton muss für die Erstellung sowie für die stetige Herstellung mit den Anforderungen aus Tabelle 6.38 übereinstimmen. Die Probenahme muss für jede Betonfamilie und jeden einzeln überwachten Beton durchgeführt werden.

6.4.2.2 Erstherstellung

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

6.4.2.3 Stetige Herstellung

Die stetige Herstellung ist erreicht, sobald mindestens 35 Ergebnisse in einem Zeitraum zwischen 3 bis 12 Monaten vorliegen.

Falls die Herstellung eines Einzelbetons oder einer Betonfamilie für mehr als 6 Monate unterbrochen wurde, sind die Kriterien sowie der Probenahme- und Prüfplan der Erstherstellung wieder zu übernehmen.

Tabelle 6.38: Mindesthäufigkeit der Probenahme

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)		1/400 m ³ oder 1/Produktionswoche 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 die Probenahmehäufigkeit für die nächsten 35 Prüfergebnisse auf diejenige zu erhöhen, die für die Erstherstellung gefordert wird.

6.4.3 Betonfamilie

Die Betonfamilien sollen so gebildet werden, dass hinreichend zuverlässige Beziehungen zwischen den einzelnen Familienmitgliedern aufgestellt werden können.

Für Normalbeton der Festigkeitsklassen C8/10 bis C50/60 dürfen unter folgenden Voraussetzungen Betone zu Betonfamilien zusammengefasst werden:

- Zement gleicher Art, Festigkeitsklasse und Herkunft,
- Gesteinskörnungen gleichen geologischen Ursprungs und Zusatzstoffe des Typs I,
- Betone sowohl mit als auch ohne wasserreduzierende/verflüssigende Zusatzmittel,
- gesamter Konsistenzbereich F1 bis F6,
- Betone mit Zusatzstoffen des Typs II müssen als separate Familien gebildet werden,
- Betone mit Verzögerer ≥ 3 h, Luftporenbildner oder festigkeitsbeeinflussenden Zusatzmitteln müssen als separate Familien oder als Einzelbetone behandelt werden,
- bilden von mindestens zwei Betonfamilien innerhalb der Festigkeitsklassen C8/10 und C50/60.

6

6.4.3.1 Referenzbeton/Transformation

Als Referenzbeton ist entweder der am häufigsten hergestellte Beton oder ein Beton aus dem Mittelfeld der Betonfamilie auszuwählen.

Um die Ergebnisse aus Druckfestigkeitsprüfungen einzelner Betone auf den Referenzbeton übertragen zu können, werden Zusammenhänge zwischen jedem einzelnen Beton einer Familie und dem Referenzbeton aufgestellt. Dies erfordert das Festlegen der Zielfestigkeit für jeden einzelnen Beton im Vorfeld.

Als Transformationsmethode wird das Differenzverfahren empfohlen. Beim Differenzverfahren wird der lineare Zusammenhang zwischen der Zielfestigkeit eines Betons und dem ermittelten Druckfestigkeitswert genutzt. Die Differenz beider Werte wird zur Zielfestigkeit des Referenzbetons addiert, das Ergebnis stellt die äquivalente Druckfestigkeit dar.

6.4.3.2 Konformitätskriterien

Kriterium 1

(Nachweis des Mittelwertes innerhalb der Betonfamilie)

Wird die Konformität auf der Grundlage einer Betonfamilie nachgewiesen, erfolgt der Nachweis von Kriterium 1 anhand des Mittelwertes aller auf den Referenzbeton umgerechneten (transformierten) Einzelwerte.

Kriterium 2

(Nachweis eines jeden Einzelwertes)

Der Nachweis von Kriterium 2 erfolgt am Einzelwert eines jeden Betons. Ein Beton gilt als normkonform, wenn sein Prüfwert die Anforderung für Kriterium 2 (Tabelle 6.39) erfüllt.

Beispiel: Ein Beton der Druckfestigkeitsklasse C20/25 gilt demnach als normkonform, wenn die Druckfestigkeit am Würfel mindestens 21 N/mm² beträgt (Prüfwert $\geq f_{ck} - 4$).

6

Tabelle 6.39: 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	$\geq f_{ck} + 4$ hochfester Beton: $\geq f_{ck} + 5$	$\geq f_{ck} - 4$ hochfester Beton: $\geq f_{ck} - 5$
Stetige Herstellung	15	$\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$, $\sigma \geq 3$ [N/mm ²] hochfester Beton: $\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$, $\sigma \geq 5$ [N/mm ²]	$\geq f_{ck} - 4$ hochfester Beton: $\geq 0,9 f_{ck}$

Tabelle 6.40: Beispiel: Nachweis Kriterium 1 und 2 (Erstherstellung)

Referenzbeton: 14133200 Druckfestigkeitsklasse: C20/25 Zielfestigkeit: 33 N/mm²												
Probe-Nr.	Datum	Sorten-Nr.	Druckfestigkeitsklasse	Kriterium 2 jeder Einzelwert			Kriterium 1 Mittelwert innerhalb der Betonfamilie (transformiert)					
				$f_{ci, cube}$ N/mm ²	$f_{ck, cube}^{-4}$ N/mm ²	erfüllt	Zielwert N/mm ²	Δ N/mm ²	transf. N/mm ²	$f_{cm, trans}$ N/mm ²	$f_{ck, cube}^{+4}$ N/mm ²	erfüllt
1	22.10.2007	17733400	C35/45	59,5	41,0	ja	55,0	4,5	37,5	34,8	29,0	ja
2	26.10.2007	16533400	C30/37	49,0	33,0	ja	47,0	2,0	35,0			
3	29.10.2007	14133200	C20/25	32,0	21,0	ja	33,0	-1,0	32,0			
4	05.11.2007	15333200	C25/30	39,0	26,0	ja	38,0	1,0	34,0	33,0	29,0	ja
5	08.11.2007	14133200	C20/25	31,0	21,0	ja	33,0	-3,0	31,0			
6	13.11.2007	14133200	C20/25	34,0	21,0	ja	33,0	1,0	34,0			
...												
34	10.04.2008	16532400	C30/37	44,0	33,0	ja	47,0	-3,0	30,0	34,0		
35	14.04.2008	13131200	C16/20	29,0	16,0	ja	28,0	1,0	34,0			

6
Tabelle 6.41: Beispiel: Nachweis Kriterium 1 und 2 (stetige Herstellung)

Referenzbeton: 14133200 Druckfestigkeitsklasse: C20/25 Zielfestigkeit: 33 N/mm²												
Probe-Nr.	Datum	Sorten-Nr.	Druckfestigkeitsklasse	Kriterium 2 jeder Einzelwert			Kriterium 1 Mittelwert innerhalb der Betonfamilie (transformiert)					
				$f_{ci, cube}$ N/mm ²	$f_{ck, cube}^{-4}$ N/mm ²	erfüllt	Zielwert N/mm ²	Δ N/mm ²	transf. N/mm ²	$f_{cm, trans}$ N/mm ²	$f_{ck, cube}^{+1,48\sigma}$ N/mm ²	erfüllt
36	16.04.2008	12012200	C12/15	26,0	11,0	ja	23,0	3,0	36,0	34,2	30,9	ja
37	17.04.2008	14133200	C20/25	36,0	21,0	ja	33,0	3,0	36,0			
38	20.04.2008	17732400	C35/45	57,5	41,0	ja	53,0	4,5	37,5			
39	20.04.2008	17732400	C35/45	56,5	41,0	ja	53,0	3,5	36,5			
40	24.04.2008	15331200	C25/30	32,0	26,0	ja	38,0	-6,0	27,0			
41	25.04.2008	15333200	C25/30	41,0	26,0	ja	38,0	3,0	36,0			
42	26.04.2008	14133200	C20/25	30,5	21,0	ja	33,0	-2,5	30,5			
43	03.05.2008	14133200	C20/25	36,5	21,0	ja	33,0	3,5	36,5			
44	07.05.2008	15333200	C25/30	42,5	26,0	ja	38,0	4,5	37,5			
45	07.05.2008	15333200	C25/30	45,0	26,0	ja	38,0	7,0	40,0			
46	10.05.2008	15333200	C25/30	34,0	26,0	ja	38,0	-4,0	29,0			
47	10.05.2008	15333200	C25/30	37,0	26,0	ja	38,0	-1,0	32,0			
48	10.05.2008	15333200	C25/30	35,0	26,0	ja	38,0	-3,0	30,0			
49	15.05.2008	12012200	C12/15	24,0	11,0	ja	23,0	1,0	34,0			
50	15.05.2008	15333200	C25/30	39,5	26,0	ja	38,0	1,5	34,5			

Nachweis der Standardabweichung:		
$0,63 \sigma \leq s_{15} \leq 1,37 \sigma$ (Schätzwert $\sigma_{35} = 4,01$)		
$0,63 \sigma$	2,52	Nachweis erfüllt
s_{15}	3,69	
$1,37 \sigma$	5,48	

Beim Übergang von der Ersterstellung zur stetigen Herstellung wird der Schätzwert der Standardabweichung (σ_{35}) aus den letzten 35 Werten der äquivalenten (transformierten) Druckfestigkeit errechnet. Dieser ist zur Beurteilung von Kriterium 1 erforderlich und kann mittels zwei Verfahren angewendet werden:

Nach Verfahren 1 darf der errechnete Schätzwert der Standardabweichung beibehalten werden, solange die Standardabweichung der letzten 15 Ergebnisse (s_{15}) nicht außerhalb der Grenzen $0,63 \sigma \leq s_{15} \leq 1,37 \sigma$ liegt. Bei einer Abweichung ist für die nächsten 35 Prüfwerte der Probenahmerythmus der Ersterstellung zu übernehmen, außerdem ist ein neuer Schätzwert aus den vorangegangenen Prüfwerten zu ermitteln.

Nach Verfahren 2 darf der Wert σ nach einem kontinuierlichen Verfahren angepasst werden. Die Anpassung erfolgt kontinuierlich während des gesamten Auswertungszeitraums anhand der letzten 35 Werte der äquivalenten (transformierten) Druckfestigkeit.

Kriterium 3 (Mittelwert eines jeden Betons innerhalb der Betonfamilie)

Zum Nachweis, dass jeder einzelne Beton zur Familie gehört, ist der Mittelwert aller nicht umgerechneten Prüfergebnisse für einen einzelnen Beton gegenüber dem Kriterium 3 nachzuweisen. Jeder Beton, der Kriterium 3 nicht erfüllt, ist aus der Betonfamilie zu entfernen, und seine Konformität ist gesondert nachzuweisen.

Tabelle 6.42: Kriterium 3 für einen Beton aus einer 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	$\geq f_{ck} + 2,5$
6–14	$\geq f_{ck} + 3,0$
≥ 15	$\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$

6

Tabelle 6.43: Beispiel: Nachweis Kriterium 3 (Erstherstellung)

Referenzbeton: 14133200 Druckfestigkeitsklasse: C20/25 Zielfestigkeit: 33 N/mm ²								
Probe-Nr.	Datum	Sorten-Nr.	Druckfestigkeitsklasse	Prüfwert $f_{ci, cube}$ N/mm ²	Anzahl n	Kriterium 3		
						Mittelwert einer Sorte N/mm ²	$f_{ck, cube} + x$ N/mm ²	erfüllt
1	22.10.2007	17733400	C35/45	59,5	1	59,5	41,0	ja
2	26.10.2007	16533400	C30/37	49,0	1	49,0	33,0	ja
3	29.10.2007	14133200	C20/25	32,0	1	32,0	21,0	ja
4	05.11.2007	15333200	C25/30	39,0	1	39,0	26,0	ja
5	08.11.2007	14133200	C20/25	31,0				
6	13.11.2007	14133200	C20/25	34,0	2	32,5	24,0	ja
...								
34	10.04.2008	16532400	C30/37	44,0	1	44,0	33,0	ja
35	14.04.2008	13131200	C16/20	29,0	1	29,0	16,0	ja
					Anzahl n	Kriterium 3		
					1	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} - 4,0$		
					2	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} - 1,0$		
					3	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} + 1,0$		

Tabelle 6.44: Beispiel: Nachweis Kriterium 3 (stetige Herstellung)

Referenzbeton: 14133200 Druckfestigkeitsklasse: C20/25 Zielfestigkeit: 33 N/mm ²								
Probe-Nr.	Datum	Sorten-Nr.	Druckfestigkeitsklasse	Prüfwert $f_{ci, cube}$ N/mm ²	Kriterium 3			
					Anzahl n	Mittelwert einer Sorte		erfüllt
					$f_{cm, cube}$ N/mm ²	$f_{ck, cube} + x$ N/mm ²		
36	16.04.2008	12012200	C12/15	26,0				
37	17.04.2008	14133200	C20/25	36,0				
38	20.04.2008	17732400	C35/45	57,5				
39	20.04.2008	17732400	C35/45	56,5	2	57,0	44,0	ja
40	24.04.2008	15331200	C25/30	32,0	1	32,0	26,0	ja
41	25.04.2008	15333200	C25/30	41,0				
42	26.04.2008	14133200	C20/25	30,5				
43	03.05.2008	14133200	C20/25	36,5	3	34,3	26,0	ja
44	07.05.2008	15333200	C25/30	42,5				
45	07.05.2008	15333200	C25/30	45,0				
46	10.05.2008	15333200	C25/30	34,0				
47	10.05.2008	15333200	C25/30	37,0				
48	10.05.2008	15333200	C25/30	35,0				
49	15.05.2008	12012200	C12/15	24,0	2	25,0	14,0	ja
50	15.05.2008	15333200	C25/30	39,5	7	39,1	33,0	ja
					Anzahl n	Kriterium 3		
					1	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} - 4,0$		
					2	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} - 1,0$		
					3	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} + 1,0$		
					4	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} + 2,0$		
					5	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} + 2,5$		
					6 bis 14	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} + 3,0$		
					≥ 15	$f_{cm, cube} \geq f_{ck, cube} + 1,48$		

6.4.4 Annahmeprüfung nach DIN 1045-3

Die Annahmeprüfung des Betons erfolgt durch den Verwender auf der Baustelle. Umfang und Häufigkeit der Prüfungen erfolgen analog der Überwachungsklassen 1, 2 und 3.

Tabelle 6.45: Überwachungsklassen für Beton

Gegenstand	Überwachungs-klasse 1	Überwachungsklasse 2 ¹⁾	Überwachungs-klasse 3 ¹⁾
Festigkeitsklasse für Normal- und Schwerbeton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2	$\leq C25/30$ ²⁾	$\geq C30/37$ und $\leq C50/60$	$\geq C55/67$
Festigkeitsklasse für Leichtbeton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 der Rohdichteklassen			
D1,0 bis D1,4	nicht anwendbar	$\leq LC25/28$	$\geq LC30/33$
D1,6 bis D2,0	$\leq LC25/28$	LC30/33 und LC35/38	$\geq LC40/44$
Expositions-klasse nach DIN 1045-2	X0, XC, XF1	XS, XD, XA, XM ³⁾ , XF2, XF3, XF4	–
Besondere Beton-eigenschaften		<ul style="list-style-type: none"> – Beton für wasserundurchlässige Baukörper (z.B. weiße Wannen) ⁴⁾ – Unterwasserbeton – Beton für hohe Gebrauchstemperaturen $T \leq 250$ °C – Strahlenschutzbeton (außerhalb des Kernkraftwerkbaus) – Für besondere Anwendungsfälle (z.B. verzögerter Beton, Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) sind die jeweiligen DAfStb-Richtlinien anzuwenden. 	–

- 1) Wird Beton der Überwachungsklassen 2 und 3 eingebaut, muss die Überwachung durch das Bauunternehmen zusätzlich die Anforderungen von Anhang B erfüllen und eine Überwachung durch eine dafür anerkannte Überwachungsstelle nach Anhang C durchgeführt werden.
- 2) Spannbeton der Festigkeitsklasse C25/30 ist stets in Überwachungsklasse 2 einzuordnen.
- 3) Gilt nicht für übliche Industrieböden.
- 4) Beton mit hohem Wassereindringwiderstand darf in die Überwachungsklasse 1 eingeordnet werden, wenn der Baukörper maximal nur zeitweilig aufstauendem Sickerwasser ausgesetzt ist und wenn in der Projektbeschreibung nichts anderes festgelegt ist.

6.4.4.1 Umfang und Häufigkeit der Prüfungen (Beton nach Eigenschaften)

Für jeden verwendeten Beton der Überwachungsklassen 2 und 3 sind mindestens 3 Proben zu entnehmen und zwar:

- bei Überwachungsklasse 2 jeweils für höchstens 300 m³ oder je 3 Betoniertage,
- bei Überwachungsklasse 3 jeweils für höchstens 50 m³ oder je Betoniertag.

Diejenige Anforderung, welche die größte Anzahl von Proben ergibt, ist maßgebend.

Betone mit gleichen Ausgangsstoffen, gleichem w/z-Wert, aber anderem Größtkorn gelten als **EIN** Beton. Die Betonproben müssen etwa gleichmäßig über die Betonierzeit verteilt und aus verschiedenen Lieferfahrzeugen entnommen werden, wobei aus jeder Probe ein Probekörper herzustellen ist.

Auf Baustellen der Überwachungsklasse 1 ist angelieferter Beton nach Eigenschaften nur in Zweifelsfällen auf Druckfestigkeit zu prüfen.

6

6.4.4.2 Annahmekriterien für Druckfestigkeiten

Die Annahmekriterien für Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung erfolgt gemäß Tabelle 6.46. Die Beurteilung erfolgt für jeden Einzelwert (Kriterium 2) und für den Mittelwert von „n“ nicht überlappenden Einzelwerten (Kriterium 1). Zur Beurteilung von Kriterium 1 können vorhandene Prüfergebnisse in kleinere Gruppen aufeinander folgender Werte (mindestens 3) aufgeteilt werden.

Die Annahmeprüfung soll die Zugehörigkeit der Teilmenge des zur Baustelle gelieferten Betons mit der entsprechenden Grundgesamtheit des Lieferwerkes nachweisen, für die der Hersteller den Konformitätsnachweis führt. Die Baustelle führt keinen erneuten Konformitätsnachweis durch. Insofern sind für die Annahme auch geänderte Mittelwertkriterien 1 vorgegeben, die planmäßig niedriger angesetzt sind als die Konformitätskriterien des Herstellers selbst, vgl. Tabelle 6.39.

Tabelle 6.46: Annahmekriterien für die Druckfestigkeit

	Kriterium 1		Kriterium 2	
	ÜK2-Beton	ÜK3-Beton	ÜK2-Beton	ÜK3-Beton
Anzahl „n“ der Einzelwerte	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	$f_{cm} \geq f_{ck} + \left(1,65 - \frac{2,58}{\sqrt{n}}\right) \sigma$ $\sigma \geq 4$		$\geq f_{ck} - 4$	$\geq 0,9 f_{ck}$
≥ 35	$f_{cm} \geq f_{ck} + \left(1,65 - \frac{2,58}{\sqrt{n}}\right) \sigma$ $\sigma \geq 3$	$\sigma \geq 5$	$\geq f_{ck} - 4$	$\geq 0,9 f_{ck}$

6
Tabelle 6.47: Beispiel: Annahmekriterium

Probekörperanzahl	Probe-Nr.	Datum	Sorten-Nr.	Druckfestigkeitsklasse	Kriterium 2 jeder Einzelwert			Kriterium 1 Mittelwert von „n“ Einzelwerten			
					$f_{ci, cube}$ N/mm ²	$f_{ck, cube-4}$ N/mm ²	erfüllt	σ berücks.	$f_{cm, cube}$ N/mm ²	$f_{ck, cube+x}$ N/mm ²	erfüllt
1	1	07.10.2006	16533400	C30/37	44,5	33,0	ja				
2	2	07.10.2006	16533400	C30/37	49,5	33,0	ja				
3	3	11.10.2006	16533400	C30/37	43,0	33,0	ja				
4	4	12.10.2006	16533400	C30/37	46,5	33,0	ja	4	45,9	38,0	erfüllt
1	5	14.10.2006	16533400	C30/37	49,0	33,0	ja				
2	6	16.10.2006	16533400	C30/37	52,0	33,0	ja				
3	7	17.10.2006	16533400	C30/37	50,5	33,0	ja				
4	8	18.10.2006	16533400	C30/37	46,0	33,0	ja	4	49,4	38,0	erfüllt
1	9	19.10.2006	16533400	C30/37	45,0	33,0	ja				
2	10	20.10.2006	16533400	C30/37	51,5	33,0	ja				
3	11	23.10.2006	16533400	C30/37	49,0	33,0	ja				
4	12	25.10.2006	16533400	C30/37	54,5	33,0	ja	4	50,0	38,0	erfüllt

6.4.5 Prüfverfahren für Frischbeton

Die Betoneigenschaften nach der europäischen Betonnorm DIN EN 206-1 basieren auf europäischen Prüfverfahren.

Tabelle 6.48: Übersicht über die Prüfnormen

DIN EN 12350 Prüfung von Frischbeton

- Teil 1: Probenahme und Prüfgeräte
- Teil 2: Setzmaß
- Teil 3: Vébé-Prüfung
- Teil 4: Verdichtungsmaß
- Teil 5: Ausbreitmaß
- Teil 6: Frischbetonrohddichte
- Teil 7: Luftgehalte – Druckverfahren
- Teil 8: Selbstverdichtender Beton – Setzfließmaß- Versuch
- Teil 9: Selbstverdichtender Beton – Auslaufrichter- Versuch
- Teil 10: Selbstverdichtender Beton – L-Kasten- Versuch
- Teil 11: Selbstverdichtender Beton – Bestimmung der Sedimentationsstabilität im Siebversuch
- Teil 12: Selbstverdichtender Beton – Blockierung-Versuch

DIN EN 12390 Prüfung von Festbeton

- Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen
- Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen
- Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern
- Teil 4: Bestimmung der Druckfestigkeit – Anforderungen an Prüfmaschinen
- Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern
- Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern
- Teil 7: Rohddichte von Festbeton
- Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck
- Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, Abwitterung (Vornorm CEN/TS)
- Teil 10: Bestimmung des Karbonatisierungswiderstandes von Beton bei atmosphärischer Konzentration von Kohlenstoffdioxid (Vornorm)
- Teil 11: Bestimmung des Chloridwiderstandes von Beton – Einseitig gerichtete Diffusion
- Teil 12: Bestimmung des Karbonatisierungswiderstandes von Beton – Beschleunigtes Karbonatisierungsverfahren
- Teil 13: Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul)

Tabelle 6.48: Übersicht über die Prüfnormen (Fortsetzung)

Teil 14: Teiladiabatisches Verfahren zur Bestimmung der Wärme, die während des Erhärtungsprozesses von Beton freigesetzt wird
Teil 15: Adiabatisches Verfahren zur Bestimmung der Wärme, die während des Erhärtungsprozesses von Beton freigesetzt wird
Teil 16: Bestimmung des Schwindens von Beton
Teil 17: Bestimmung des Kriechens von Beton unter Druckspannung
Teil 18: Bestimmung des Chloridmigrationskoeffizienten
Teil 19: Bestimmung des elektrischen Widerstands
DIN EN 12504 Prüfung von Beton in Bauwerken
Teil 1: Bohrkernproben – Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit ¹⁾
Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung – Bestimmung der Rückprallzahl
Teil 3: Bestimmung der Ausziehkraft
Teil 4: Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit

¹⁾ Die Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken wird in DIN EN 13791 geregelt.

6

6.4.5.1 Probenahme DIN EN 12350-1

- Es gelten 2 Verfahren für die Probenahme: Stich- oder Sammelprobe; zu verwendendes Verfahren wird vor der Probenahme festgelegt,
- Gesamtmenge der Probe muss mindestens 1,5 mal so groß sein, wie die für die Prüfungen erforderliche Menge (z.B. Würfel mit 150 mm Kantenlänge 3,38 Liter x 1,5 = 5,1 Liter Frischbeton),
- Probe muss dem Durchschnitt des zu beurteilenden Betons entsprechen,
- keine Probenahme zu Anfang oder Ende der Mischer- oder Fahrmit-scherentleerung,
- bei einer oder mehrerer Betonschüttungen sollten Einzelproben an 5 verschiedenen Stellen entnommen werden,
- Datum und Uhrzeit der Probenahme im Prüfprotokoll vermerken!

Stichprobe: Betonmenge aus einer oder mehreren Einzelproben, die einem Teil der Mischerfüllung oder Betonmasse entnommen und gründlich durchgemischt wurde.

Sammelprobe: Betonmenge aus mehreren Einzelproben, die gleichmäßig über die Mischerfüllung oder Betonmasse verteilt entnommen und gründlich durchgemischt wurde.

Einzelprobe: Betonmenge, die mit der Probenahmeschaufel oder einem ähnlichen Probenahmegerät mit einem einzelnen Schaufelstich entnommen wurde.

6.4.5.2 Konsistenz-Prüfung

- in Deutschland finden Teil 4 („Verdichtungsmaß“) und Teil 5 („Ausbreitmaß“) in aller Regel Anwendung,
- es sind Prüfverfahren für zu verdichtende Betone. Bei der Prüfung wird Verformungsenergie – 15 Schläge, Rütteln (Innenrüttler 120 Hz oder Rütteltisch 40 Hz) – erzeugt,
- Ergebnisse aus verschiedenen Konsistenz-Prüfverfahren können i. A. nicht übertragen werden.

Verdichtungsmaß DIN EN 12350-4

- Frischbeton mit Kelle in den speziellen vorher gesäuberten und angefeuchteten Behälter geben (nacheinander von allen 4 Oberkanten des Behälters seitwärts entleeren),
- jegliche Verdichtung vermeiden, bis der Behälter mit kleinem Überstand gefüllt ist,
- überstehenden Beton mit Abstreichlineal mittels Sägebewegung bündig abstreichen (Verdichtung vermeiden),
- Beton durch Vibration solange verdichten, bis keine Verringerung des Volumens erkennbar ist bzw. keine größeren Luftblasen mehr aufsteigen,
- nach Verdichtung: an allen vier Behälter-Seitenmitten das Abstichmaß s (Abstand von der Oberkante des Behälters bis zur Betonoberfläche) auf einen Millimeter genau messen und Mittelwert s_m bilden.

Das Verdichtungsmaß berechnet sich wie im folgenden Beispiel dargestellt:
Messwerte der 4 Abstichmaße:

$$s_1 = 93 \text{ mm}, s_2 = 92 \text{ mm}, s_3 = 91 \text{ mm}, s_4 = 92 \text{ mm},$$

$$\text{Mittelwert von } s_m = \frac{93 + 92 + 91 + 92}{4} = 92 \text{ mm}$$

$$\text{Behälterhöhe } h = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Verdichtungsmaß } c = \frac{h}{h - s_m} = \frac{400}{400 - 92} = 1,30$$

Dieser Beton wäre aufgrund seines Verdichtungsmaßes $c = 1,30$ in die Verdichtungsmaßklasse C1 einzuordnen.

Fehlermöglichkeiten:

- Die Konsistenz des Betons ist zu weich für das beschriebene Verfahren (empfohlener Bereich: $c > 1,04$ und $< 1,46$),
- beim Verdichten spritzt Beton aus dem Behälter oder läuft aus den Bodenöffnungen des Behälters,
- Verwendung von Gesteinskörnungen über 63 mm Größtkorn.

Ausbreitmaß DIN EN 12350-5

- Kegelstumpfförmige Form mithilfe einer Schaufel in 2 gleiche Betonschichten füllen,
- jede Schicht durch 10 leichte Stöße mit Stößel verdichten,
- Oberfläche bündig abstreifen, Form entfernen und Tischplatte des Ausbreittisches säubern,
- Prüfer muss zur Stabilisierung auf Trittlech des Aufstellrahmens stehen,
- Tischplatte langsam 15 mal bis zum Anschlag anheben (Hubzeit sollte zwischen 1 s bis 3 s liegen), fallen lassen und Ausbreitmaß des Betons in zwei Richtungen (d_1 , d_2) parallel zur Tischkante auf 10 mm genau messen und notieren; Mittelwert bilden.

Fehlermöglichkeiten/Hinweise zur Durchführung:

- Tisch fest und waagrecht aufstellen,
- empfohlener Bereich: $340 < d \leq 620$ mm,
- Konsistenz des Betons ist zu steif oder zu weich für das beschriebene Verfahren; Entmischung des Betons (ggf. notieren),
- Masse der Tischplatte von $(16 + 0,5)$ kg und die Hubhöhe (40 ± 1) mm entsprechen nicht der Norm.

6.4.5.3 Frischbetonrohichte DIN EN 12350-6

- Frischbeton in ein Gefäß mit bekanntem Volumen (z.B. Luftporenkopf) in mind. 2 Schichten füllen, verdichten (Innenrüttler 120 Hz, Rütteltisch 40 Hz; Handverdichtung mind. 25 Stöße je Schicht) und auf 0,01 kg wiegen,
- mit m_1 = Masse des leeren Behälters und m_2 = Masse des vollständig mit verdichteten Beton gefüllten Behälter wird die Dichte wie folgt berechnet

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ (auf } 10 \text{ kg/m}^3 \text{ angeben).}$$

Fehlermöglichkeiten/Hinweise zur Durchführung:

- Frischbeton-Probe wurde zu stark verdichtet und hat sich entmischt,
- Verwendung von Würfelformen 150 mm Kantenlänge (Volumen kleiner als 5 Liter) ergibt ungenaue Werte,
- Behälter ist undicht, sodass Zementleim entweichen kann.

6.4.5.4 Luftporengehalt DIN EN 12350-7

Druckausgleichsverfahren

- zwischen einem mit Frischbeton und einem mit Druckluft gefüllten zweiten kleineren Behälter wird ein Druckausgleich hergestellt,
- der durch die Luftporen des Betons bedingte Druckabfall wird auf einem kalibrierten Manometer als prozentualer Luftgehalt der Probe abgelesen.

Durchführung

- Beton in einer oder mehreren Lagen (von Konsistenz abhängig) in Behälter füllen,
- Beton verdichten (Innenrüttler 120 Hz, Rütteltisch 40 Hz; Handverdichtung mind. 25 Stöße je Schicht),
- Betonoberfläche mit Stahllineal abgleichen und Behälterrand säubern,
- Verschlussaggregat aufsetzen und fest verschließen (Entlüftungsventil schließen),
- rote Einfüll-Ventile öffnen und Wasser mit einer Spritzflasche in ein Ventil einfüllen, solange bis aus dem anderen Ventil Wasser blasenfrei wieder entweicht (gegen das Gerät klopfen, bis enthaltende Luft vollständig entfernt ist),
- beide Ventile schließen und Druck in der Luftkammer bis zur roten Kalibriermarkierung aufbauen,
- Entlüftungsventil öffnen und Anzeigewert ablesen und notieren (auf 0,1 Vol.-% runden); ggf. Korrekturwert G der Gesteinskörnung abziehen.

Fehlermöglichkeiten/Hinweise zur Durchführung:

- Innenrüttler: künstlich eingeführte Luftporen gehen verloren,
- das Prüfgerät (LP-Topf) muss kalibriert sein,
- Raum zwischen Deckel und Betonoberfläche war nicht vollständig mit Wasser gefüllt,
- Dichtungen des Behälters sind defekt.

Der Hautkontakt mit feuchtem Zement oder Beton ist durch das Tragen geeigneter Schutzkleidung zu vermeiden.

6.4.6 Prüfverfahren für Festbeton

6.4.6.1 Prüfverfahren an gesondert hergestellten Probekörpern

Für Festbeton ist die europäische Prüfnormen-Reihe DIN EN 12390 maßgebend, auf deren Anwendung die Eigenschaften von Beton nach europäischer Betonnorm DIN EN 206-1 basieren.

Bei der Herstellung von Probekörpern ist zu beachten:

- Innenflächen der Form leicht einölen, einfetten oder mit nichtreagierendem Entschalungsmittel einstreichen,
- Form auf den Rütteltisch stellen (Verwendung eines Innenrüttlers möglich, aber Freisetzung von eingeführten Luftporen vermeiden),
- Betonprobe gem. DIN EN 12350-1 Prüfung von Frischbeton – Teil 1: Probenahme entnehmen,
- Form nacheinander in ein oder mehreren Schichten befüllen (selbstverdichtender Beton wird in einem Arbeitsgang gefüllt),
- jede Schicht möglichst vollständig verdichten (beim selbstverdichtenden Beton darf keine mechanische Verdichtung erfolgen).

Anmerkung aus DIN EN 12390-2:2019-10

„Bei einer mechanischen Rüttleinwirkung ist die *vollständige Verdichtung* erreicht, wenn keine größeren Luftblasen mehr an der Oberfläche erscheinen und wenn die Oberfläche relativ glatt ist und ein glänzendes Erscheinungsbild ohne übermäßiges Entmischen aufweist.“

- Handverdichtung: Stöße mit Stampfer gleichmäßig über den Querschnitt; jede Schicht mit ausreichenden Verdichtungsschlägen verdichten,
- deutliche und dauerhafte Kennzeichnung der Probe und Abdecken mit einer Folie, um ein Austrocknen zu vermeiden,
- Druckfestigkeitsprüfung am 150-mm-Würfel in Deutschland maßgebend,
- Lagerung in Form (mind. 16h, max. 3d),
- bei Transport: Probekörper luftdicht verpacken,
- Wasserlagerung ist Referenz-Lagerungsart (bis unmittelbar vor der Prüfung bei (20 ± 2) °C oder in Feuchtekammer bei (20 ± 2) °C und $\geq 95\%$ relative Luftfeuchte),
- vor der Prüfung die Druckflächen von überschüssiger Feuchte befreien.

Abweichende Lagerung möglich nach DIN 1045-2, Abschn. 5.5.1.2:

7d Nasslagerung und anschließend Trockenlagerung bei $(15-20)$ °C und $(65\pm 5)\%$ relative Luftfeuchte → Anpassung der Druckfestigkeit mittels Umrechnungsfaktor

150-mm-Würfel: Normalbeton bis C50/60: $f_{c, \text{cube}} = 0,92 \cdot f_{c, \text{dry}}$

150-mm-Würfel: Normalbeton ab C55/67: $f_{c, \text{cube}} = 0,95 \cdot f_{c, \text{dry}}$

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

6.4.6.2 Betonprüfung am Bauwerk

Für die Betonprüfung am Bauwerk ist die europäische Normenreihe DIN EN 12504 maßgebend, und zwar im Einzelnen:

DIN EN 12504-1: Bohrkernproben – Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit

DIN EN 12504-2: Zerstörungsfreie Prüfung – Bestimmung der Rückprallzahl

DIN EN 12504-3: Bestimmung der Ausziehkraft

DIN EN 12504-4: Bestimmung der Ultraschall-Impuls geschwindigkeit

Diese Prüfnormen werden als Technische Baubestimmungen eingeführt. Bis dahin erlaubt DIN 1045-2, die Druckfestigkeit am Bauwerk oder an Bauteilen nach DIN 1048-4 zu prüfen. Die Auswertung und Beurteilung der Prüfergebnisse erfolgt nach DIN 1048-4, Abschnitt 5.

Die Prüfung selbst erfolgt nach DIN 1048-2, Abschnitte 5.1.1 und 5.1.2.



Abb 6.4: Betonübergabe auf der Baustelle

6.4.6.3 Anhaltswerte zum Verhältnis von Druck- zu Zugfestigkeiten

Druckfestigkeit : Biegezug- : Spaltzug- : zentrische Zugfestigkeit
 100 : 20–10 : 13–6 : 10–5

6

6.4.6.4 Festigkeitsentwicklung von Beton

Die Festigkeitsentwicklung nach DIN EN 206-1, Tabelle 12 ist das Verhältnis der mittleren Druckfestigkeit nach 2 Tagen $f_{cm,2}$ zur mittleren Druckfestigkeit nach 28 Tagen $f_{cm,28}$ aus der Erstprüfung, d.h. die mittlere 2d-zur 28d-Druckfestigkeit an Prüfkörpern ermittelt, die nach DIN EN 12390-1 bis -3 herzustellen, unter Wasser zu lagern und zu prüfen sind.

Prüfung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes

- Prüfung des Frostwiderstandes von Beton mit Wasser bzw. des Frost-Tausalz-Widerstandes mit einer 3%igen Natrium-Chlorid-Lösung nach DIN CEN/TS 12390-9,
- 3 Prüfverfahren zur Bestimmung der Abwitterung:
 - Referenzprüfverfahren: Plattenprüfverfahren (Slab-Test),
 - 2 Alternativverfahren:
 - Würfelprüfverfahren,
 - CF/CFD-Prüfverfahren (in Deutschland üblich),
- zwischen den Ergebnissen der 3 Prüfverfahren gibt es keine feststehende Korrelation,
- 2 Arten der Schädigung bei Frostangriff auf den Beton:
 - oberflächiges Abwittern,
 - innere Gefügestörung.

6.5 Besondere Verarbeitungshinweise

Beton ist, wenn er richtig hergestellt und verarbeitet wird, ein sehr widerstandsfähiger Werkstoff. Dies setzt jedoch voraus, dass sowohl bei der Zusammensetzung, als auch beim Einbau und der Nachbehandlung einige Regeln beachtet werden. Besonders der junge Beton muss gegenüber Witterungseinflüssen ausreichend geschützt werden. In der kühleren Jahreszeit laufen die Reaktionen zwischen Zement und Wasser langsamer ab; der Beton muss daher vor zu schnellem Durchfrieren geschützt werden, da sonst das Gefüge geschädigt wird. Bei höheren Temperaturen laufen die Reaktionen schneller ab. Dies kann zu ungeplanten Spannungen im Bauwerk führen. In beiden Fällen müssen besondere Maßnahmen ergriffen werden, damit der Beton seine geplante Widerstandsfähigkeit erreichen kann.

6.5.1 Betonieren bei kalter Witterung

Niedrige Umgebungstemperaturen führen zu einer langsameren Hydratation des Zementes und somit auch zu einer langsameren Festigkeitsentwicklung des Betons. Gemäß DIN 1045-3 sind daher besondere Maßnahmen zu beachten, um den jungen Beton vor einem zu frühen durchfrieren zu schützen:

- bei Temperaturen unterhalb von $+5^{\circ}\text{C}$ darf die Frischbetontemperatur $+5^{\circ}\text{C}$ nicht unterschreiten. Unterschreitet der Zementgehalt 240 kg/m^3 bzw. bei Verwendung von LH-Zementen muss die Frischbetontemperatur mindestens $+10^{\circ}\text{C}$ betragen,
- bei Temperaturen $< -3^{\circ}\text{C}$ muss die Frischbetontemperatur mindestens $+10^{\circ}\text{C}$ betragen,
- in den ersten Tagen darf der Beton erst dann durchfrieren, wenn seine Temperatur an mindestens 3 Tagen $+10^{\circ}\text{C}$ nicht unterschritten bzw. eine Druckfestigkeit von $> 5\text{ N/mm}^2$ erreicht hat.

Der frische und junge Beton reagiert empfindlich auf tiefe Temperaturen und nimmt bei Frost Schaden. Die Gründe dafür sind:

- die Festigkeitsentwicklung wird verlangsamt, je tiefer die Umgebungstemperatur ist. Unter 5°C kommt sie sogar zum Stillstand.

Das Gefrieren des Wassers in den Poren und Kapillaren des jungen Betons führt zu einer dauerhaften Schädigung des Betons. Der geschädigte Beton muss entfernt werden.

Zur Vorbeugung von ungewollten Schädigungen des jungen Betons sind daher verschiedene Maßnahmen möglich.

Betonhersteller

- Verwendung von Zementen mit schneller Festigkeitsentwicklung, die innerhalb der ersten Tage viel Hydratationswärme abgeben, wie z.B. CEM I 42,5 R,
- Anheben des Zementgehaltes (Winterrezeptur). Hierbei ist jedoch auf die Festigkeitsklasse des Betons zu achten, evtl. Rücksprache mit dem Statiker nehmen,
- Absenken des w/z-Wertes,
- Erhöhung der Frischbetontemperatur durch Erwärmung des Zuga-bewassers bzw. der Gesteinskörnung,
- Zugabe von geeigneten Beschleunigern zur Erhöhung der Frühfestigkeit,
- ausreichendes Vorhaltemaß für die Frischbetontemperatur, da der Beton während des Transports zur Baustelle abkühlen kann.

Zu beachten ist weiterhin, dass auch die Wirkung von Zusatzmitteln temperaturabhängig ist. Es ist daher ratsam, die Wirksamkeit bei niedrigen Temperaturen zu testen bzw. ggf. das Zusatzmittel bei niedrigen Temperaturen zu wechseln.

Auf der Baustelle

- Der vorgewärmte Beton ist zügig in die von Schnee und Eis befreite Schalung einzubauen und sofort zu verdichten,
- Betontemperatur im Beton regelmäßig kontrollieren, z. B. in Einstechlöchern,
- unmittelbar nach dem Einbringen muss der Beton vor Wärmeentzug geschützt werden, damit die eigene Wärmeentwicklung durch die Zementhydratation aufrechterhalten werden kann (Abdecken mit Thermomatten),
- Beton vor Zugluft schützen,
- während der Erhärtungszeit muss der Beton nicht nur vor Wärmeverlust sondern auch vor Feuchtigkeitsverlust geschützt werden,

- sinkt die Betontemperatur während des Erhärtens zeitweise unter den Gefrierpunkt, sind die Ausschulfristen mindestens um die Anzahl der Frosttage zu verlängern,
- die Schalung sollte auf die Jahreszeit abgestimmt sein. Ggf. muss die Schalung isoliert werden, damit dem Beton keine Wärme entzogen wird,
- das Betonieren auf gefrorenen Baugrund bzw. an gefrorene Bauteile ist untersagt. Kalte Flächen entziehen dem frischen Beton Wärme und führen somit zu einer Verzögerung des Hydratationsprozesses,
- Schalung und Stützkonstruktionen dürfen erst dann entfernt werden, wenn der Beton eine ausreichende Druckfestigkeit erreicht hat. Die Ermittlung der Druckfestigkeit kann mechanisch an Erhärtungswürfeln oder durch Bestimmung des Reifegrades erfolgen.

Gegen Niederschlag geschützter junger Beton kann in der Regel ohne Schaden durchfrieren, wenn er bereits eine Druckfestigkeit von 5 N/mm² erreicht hat (siehe nachfolgende Tabelle 6.48).

Tabelle 6.48: Erforderliche Erhärtungszeit zum Erreichen der Gefrierbeständigkeit

Zement- festigkeits- klasse	Erforderliche Erhärtungszeit in Tagen zum Erreichen der Gefrierbeständigkeit eines Betons mit w/z-Wert 0,60		
	Betontemperatur		
	5 °C	12 °C	20 °C
52,5 N; 42,5 R	0,75	0,5	0,5
42,5 N; 32,5 R	2	1,5	1
32,5 N	5	3,5	2

Beton gilt als gefrierbeständig, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Zementgehalt > 270 kg/m³,
- w/z-Wert < 0,60,
- Schutz vor starkem Feuchtezutritt,
- schnelle Festigkeitsentwicklung,
- Temperatur während mindestens 3 Tagen > 10°C.

Dabei ist zu beachten:

- gefrierbeständige Betone erhärten nach einmaligem Durchfrieren normal weiter; mehrfaches Durchfrieren überstehen aber auch solche Betone nicht,
- Luftporenbildner tragen nicht zur Gefrierbeständigkeit bei.

6.5.2 Betonieren bei warmer Witterung

Bei sommerlichen Umgebungsbedingungen laufen die Reaktionen zwischen Zement und Wasser wesentlich schneller ab. Dies kann zu einem zu kürzeren Verarbeitungszeiten des Betons führen. Darüber hinaus kann dies zu geringeren Betondruckfestigkeiten im Alter von 28 Tagen führen.

Die verminderten Druckfestigkeiten sind in der Regel durch zwei Phänomene zu erklären:

- oftmals wird auf der Baustelle versucht, die kürzere Verarbeitungszeit durch Zugabe von Wasser auszugleichen. Diese Wasserzugabe ist unzulässig, da sie zum einen die Druckfestigkeit des Betons herab setzt. Zum anderen kann die Dauerhaftigkeit negativ beeinflusst werden.

Faustregel: 10 Liter zusätzliches Anmachwasser pro m^3 Beton verursachen einen 28-Tage-Druckfestigkeitsverlust von 3 bis 5 N/mm^2 .

- Durch die höhere Reaktionskinetik kommt es zur Bildung von größeren Kristallen im Zementstein. Dies bewirkt ebenfalls eine Verminderung der Druckfestigkeit,
- auch die Lagerung der Baustellenwürfel hat einen Einfluss auf die Druckfestigkeit. Eine erhöhte Lagertemperatur innerhalb der ersten 24 Stunden führt ebenfalls zu einem Abfall der Druckfestigkeit nach 28 Tagen.

Oftmals spricht man in diesem Fall von dem sogenannten Sommerloch. Je nach Zusammensetzung des Betons kann dies zu einem Abfall der Betondruckfestigkeit von bis zu 10% im Alter von 28 Tagen führen.

Zur Sicherstellung aller relevanten Betoneigenschaften darf die Frischbetontemperatur gemäß der entsprechenden Ausführungsnorm DIN EN 13670 bzw. der deutschen Anwendungsregel DIN 1045-3 30°C nicht überschreiten. Bei besonderen Bauwerken wird die Frischbetontemperatur durch den Bauherren auf maximal 25°C begrenzt. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, sind daher auch bei sommerlichen Umgebungsbedingungen besondere Maßnahmen zu treffen.

Betonhersteller

- Verwendung eines Zementes mit geringerer Hydratationswärme,
- Kühlen der groben Gesteinskörnung durch Besprühen mit Wasser und/oder Abdecken der Lagerboxen.

Die Mehrzugabe von Wasser durch die Kühlmaßnahmen ist bei der Betonherstellung zu berücksichtigen.

- Kühlen des Zugabewassers mit Eis,
- Kühlen der Betonmischung mit flüssigem Stickstoff,
- ggf. Verwendung von Erstarrungsverzögerern, die eine zu hohe Hydratationswärmentwicklung unterbinden. Zusätzlich wird die Verarbeitungszeit verlängert und die Endfestigkeit erhöht,
- Eignungsprüfungen zur Verarbeitbarkeit und Ermittlung der Druckfestigkeit im Vorfeld für die zu erwartenden Betontemperaturen durchführen.

Werden seitens des Bauherren zusätzlichen Anforderungen an die Frischbetontemperatur gestellt, kann diese nach der in Kapitel 6.2.2 dargestellten Formel abgeschätzt und ggf. korrigierend eingegriffen werden.

Auf der Baustelle

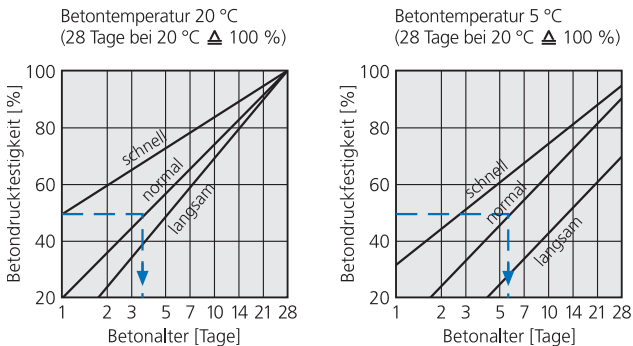
- Koordination der Anlieferung des Frischbetons mit dem Verarbeiter,
- Vorhaltung von genügend Gerätschaften und Personal, um das Einbringen und das Verdichten des Frischbetons ohne Verzug durchzuführen,
- Benetzung der Schalung und der Unterlage vor dem Einbringen des Betons, damit diese dem Frischbeton kein Wasser entziehen. Übermäßiges Wässern von Schalung und Untergrund ist zu vermeiden (keine Wasserlachen),
- auf eine kühlere Tageszeit ausweichen, wenn die Umgebungstemperatur bei der Betonherstellung zu hoch ist,
- schnellstmögliche Verarbeitung des Frischbetons,
- das Baustellenpersonal ist mit den Besonderheiten und Anforderungen des Betonierens bei hohen Temperaturen vertraut zu machen,

- sind unvorhergesehene Wartezeiten nicht zu vermeiden, muss der Beton im Fahrzeug vor direkter Wind- und Sonneneinwirkung geschützt werden. Die Trommel des Fahrmischers kann dazu mit Wasser besprüht werden,
- bei nachträglicher Wasserzugabe auf der Baustelle geht die Verantwortung der Wasserzugabe auf den Anweisenden über,
- sofortige Lagerung der Baustellen-Prüfkörper bei $20\text{ °C} \pm 2\text{K}$ zur Sicherung der normgemäßen Güteprüfung (Verhinderung Festigkeitsverlust),
- unmittelbar nach dem Einbau des Betons ist mit der Nachbehandlung gemäß DIN 1045-3 zu beginnen. Vor allem freie Flächen sollten vor zu starkem Wasserverlust durch Verdunsten geschützt werden, siehe auch Kapitel 6.3.6, Nachbehandlung.

6.5.3 Festigkeitsentwicklung in Abhängigkeit von der Betontemperatur

Erstarren und Erhärten des Zementes sind chemisch-mineralogische Reaktionen und deshalb sehr temperaturabhängig. Niedrige Temperaturen verzögern den Hydratationsfortschritt. Bei einer Betontemperatur von 5 °C kommen die chemischen Reaktionen praktisch zum Stillstand. Zemente mit schneller Wärme- und Festigkeitsentwicklung sind für die Herstellung von Bauwerken bei niedrigen Temperaturen besonders geeignet.

Abb. 6.5: Relative Entwicklung der Betondruckfestigkeit bei 20 °C und 5 °C in Abhängigkeit von der Festigkeitsentwicklung des verwendeten Zements, bezogen auf die 28-Tage-Betondruckfestigkeit bei 20 °C



Beispiel:

Ein Beton, hergestellt mit Zement hoher Anfangsfestigkeit, z.B. CEM II/A-LL 42,5 R, erreicht bei 20 °C ca. 50 % der 28-Tage-Betondruckfestigkeit nach etwa 3 1/2 Tagen. Bei + 5 °C Betontemperatur wird die gleiche Betondruckfestigkeit bei Verwendung desselben Zementes erst nach etwa 6 Tagen erreicht.

Wird der Beton mit Zement üblicher Anfangsfestigkeit, z.B. CEM III/A 32,5 N hergestellt, dann werden bei + 20 °C ca. 50 % der 28-Tage-Betondruckfestigkeit nach etwa 5 Tagen und bei einer Betontemperatur von + 5 °C die gleiche Betondruckfestigkeit erst nach 12 Tagen erreicht.



Paulaner Brauerei, München

Symbiose aus alt und neu mit weißem Sichtbeton

7 Betonanwendungen (Hinweise für die praktische Umsetzung)

7.1 Leicht verarbeitbare Betone

7.1.1 Leicht verdichtbare Betone

FLUIDUR-Rezepturen sind auf Grund ihrer Zusammensetzung leicht verdichtbare Betone. Mit FLUIDUR können hochwertige, feingliedrige Bauteile und komplexe Geometrien umgesetzt werden. Zudem ist FLUIDUR Beton mit hohem Wassereindringwiderstand. Entmischen oder Bluten findet praktisch nicht statt.








F1	F2	F3	F4	F5 FLUIDUR	F6 FLUIDUR	SVB LIQUIDUR
Stampfen Rammen	starkes Verdichten	normales Verdichten	wenig Verdichten	Stochern Klopfen	Stochern Rakeln	kein Verdichten
						
Verdichtungsaufwand						
max				min		
min					Kundennutzen	
					max	

Abb. 7.1: Verdichtungsaufwand/Ausbreitmaßklassen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2

7.1.1.1 Anwendungsgebiete

- Wohnungs- und Industriebau, konstruktiver Hoch- und Tiefbau,
- Bodenplatten und Fundamente,
- Wände, Decken, Stützen und Unterzüge,

- Bauteile mit enger Bewehrung, schwierigen Zonen der Schalung und anspruchsvoller Geometrie,
- Bauteile mit hohem Wassereindringwiderstand,
- Sichtbeton mit hohen Forderungen z. B. an glatte und porenarme Oberflächen, scharfe Kanten.



7

Abb. 7.2: Zollverein School, Essen

7.1.1.2 Eigenschaften

- leicht verdichtbar, in den Konsistenzklassen F5 fließfähig und F6 sehr fließfähig,
- verteilt sich weitgehend selbständig im Betonierabschnitt,
- erreicht eine höhere Frühfestigkeit,

- Umwelt- und Gesundheitsschonend durch geringere Lärm- und Vibrationsbelastung beim Verdichten,
- Festigkeitsklassen C 16/20 bis C 35/45 (weitere auf Anfrage).

7.1.1.3 Verarbeitungsvorteile

- einfache Entladung durch Rutsche, Rohr, Pumpe oder Krankübel,
- wenig Einfüllstellen und Rüttelgassen,
- je nach Bauteil und Abmessung auch ohne elektrische Geräte (z. B. Stochern, Klopfen, Rakeln) leicht verdichtbar,
- sehr hohe Gleichmäßigkeit des Frischbetons.

7.1.2 Selbstverdichtender Beton (SVB)

LIQUIDUR-Betone sind selbstverdichtende Betone bis zur Druckfestigkeitsklasse C70/85 entsprechend der DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“, d. h. sie entlüften aufgrund ihrer Zusammensetzung selbstständig und der Aufwand für Verdichtungsgeräte entfällt vollständig. LIQUIDUR ist die perfekte Lösung für alle anspruchsvollen Betonanwendungen, insbesondere für Sichtbeton und für schwer zugängliche Bauteile, die eine herkömmliche Verdichtung unmöglich machen.



Abb. 7.3: Verdichtung FLUIDUR im Vergleich zu Normalbeton

LIQUIDUR ist der erste SVB als Transportbeton, der eine bauaufsichtliche Zulassung für Beton erhalten hat.

7.1.2.1 Anwendungsgebiete

- Wohnungs- und Industriebau, konstruktiver Hoch- und Tiefbau,
- Bauteile mit schwer zugänglichen, filigranen und/oder komplexen Geometrien,
- monolithische Formen,
- Sichtbeton mit hohen Forderungen z.B. an glatte oder strukturierte und porenarme Oberflächen, scharfe Kanten und definierte Farbe.

7.1.2.2 Eigenschaften

- entspricht der DAFStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“,
- ist komponenten- und gefügeoptimiert,
- verdichtet komplett von selbst,
- fließt fast bis zum Niveausgleich,
- ist weitestgehend dicht und porenarm.

7

7.1.2.3 Verarbeitungsvorteile

- ohne zusätzliche Verdichtungsenergie selbstverdichtend,
- verteilt sich selbständig im Betonierabschnitt,
- erreicht hohe Frühfestigkeit,
- vermeidet weitestgehend Nachbearbeitung,
- ideal auch für den Einsatz von Dyckerhoff Weisszement.



Abb. 7.4: Museum Hombroich

7.2 Massenbeton

7.2.1 Definition

Unter Massenbeton wird Beton für Bauwerke und Bauteile verstanden, deren Querschnitte so groß sind, dass die Hydratationswärme des Zementes betontechnologisch berücksichtigt werden muss. Im Kern eines solchen Bauwerks bzw. Bauteils entstehen adiabatische oder teiladiabatische Verhältnisse, d.h. die durch die Hydratation des Zementes entstehende Wärme fließt zeitweise nicht bzw. nur äußerst langsam ab.

Seit April 2010 gilt die Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Der Anwendungsbereich dieser Richtlinie ist wie folgt festgelegt:

„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 der vorliegenden Richtlinie gelten für Bauteile, deren kleinste Bauteilabmessung mindestens 0,80 m beträgt und bei denen Zwang und Eigenspannungen in besonderer Weise zu berücksichtigen sind.“

7.2.2 Bauteilbedingungen

Durch adiabatische/teiladiabatische Verhältnisse entsteht ein Temperaturgefälle zwischen Kern und Randzone des Bauteils, man spricht auch vom Temperaturgradienten. Dies hat zur Folge, dass sich der Beton in der Kernzone mehr ausdehnen will als in der Randzone. Dies wäre nur mit unterschiedlichen Formänderungen möglich. Es entstehen Eigenstressungen, im Kern Druck- und in den Randzonen Zugspannungen.

Beim Überschreiten der Zugfestigkeit des Betons entstehen Schalenrisse. Daher sind Maßnahmen zu treffen, welche die Entstehung von Rissen als Folge von Temperaturspannungen verhindern.

Bei Massenbeton spielt die Betondruckfestigkeit i.d.R. eine geringere Rolle als die Temperaturspannungen. Es ist empfehlenswert, die Betonfestigkeitsklasse möglichst niedrig und den Nachweis der Druckfestigkeitsklasse möglichst spät, z.B. nach 56, 91 oder auch 180 Tagen anzusetzen.

7.2.3 Zugspannungen/Temperaturdifferenz

Zugspannungen und die zulässige Temperaturdifferenz zwischen Kern und Oberfläche des Betonbauteils können mit den nachfolgenden Formeln (nach Springenschmid) abgeschätzt werden:

Abschätzung der Zugspannungen

$$\sigma_{\text{zug}} = K_D \times \Delta_t \times \alpha_t \times \frac{E}{1 + \varphi} \left[\text{N / mm}^2 \right]$$

K_D = Einfluss der Dicke des Bauteils

K_D 0,5 → für Bauteile $d < 0,50$ m

K_D 0,7 → für Bauteile $d \geq 0,50$ m < 3,00 m

K_D 0,5 → für Bauteile $d \geq 3,00$ m und für wärmegeämmte Bauteile

φ = Kriechzahl des Betons (zeitabhängig 0 – 10)

α_t = Wärmeausdehnungszahl des Betons ($\sim 10^{-5}$ K)

E = Elastizitätsmodul des Betons ($0,5 - 5,0 \times 10^4$ N/mm²)

Δ_t = Temperaturunterschied zwischen Kern und Außenfläche

Als Richtwert kann gelten:

Temperaturdifferenz zwischen Kern und Oberfläche des Betonbauteils ≤ 15 K

Allgemein gilt: Je niedriger die Temperaturdifferenz, umso besser.

Abschätzung der zulässigen Temperaturdifferenz

$$\Delta_t = \frac{\sigma_{\text{zug}} \times (1 + \varphi)}{K_D \times \alpha_t \times E}$$

7.2.4 Art und Menge des eingesetzten Zementes sowie w/z-Wert

- Es sind Zemente mit niedriger Hydratationswärme zu wählen, z.B. CEM III/B 42,5 N – LH mit max. 270 J/g nach 7 Tagen,
- bei extremen Bauteilabmessungen (Talsperren, Schleusenkammern) Zement nach DIN EN 14216 Ausg. 08/2004 „Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme“ EN 14216 – VLH III/C22,5 mit max. 220 J/g nach 7 Tagen (s. auch Kapitel 1),
- der Zementgehalt ist möglichst niedrig anzusetzen
 1. Reduzierung des Mindestzementgehaltes von 320 auf 300 kg/m³ in den Expositionsclassen XD2, XD3, XS2, XF2, XF3, XF4 und XA2.
 2. Reduzierung des Mindestzementgehaltes bei Anrechnung von Zusatzstoffen von 270 auf 240 kg/m³ in der Expositionsclassen XA1.
 3. Veränderung des höchstzulässigen w/z-Wertes von 0,45 auf 0,50 bei den Expositionsclassen XD3 und XS3 bei gleichzeitiger Einschränkung auf bestimmte Zemente und Kombinationen aus Zementen und Flugaschen.
 4. Abminderung der Mindestdruckfestigkeitsclassen von C35/45 auf C30/37 in den Expositionsclassen mit max. w/z-Wert von 0,50,
- die Verarbeitbarkeit des Betons ist unter Einsatz geeigneter Betonzusatzmittel (BV/FM/VZ) sicherzustellen,
- um bei niedrigem Zementgehalt die erforderliche Druckfestigkeit sicher nachweisen zu können, sollte der Festigkeitsnachweis nach 56 oder 91, evtl. sogar nach 180 Tagen geführt werden.

7.2.5 Nachbehandlung

Bei massigen Bauteilen ist zusätzlich sicherzustellen, dass durch eine wärmedämmende Nachbehandlung die Temperaturdifferenz zwischen Bauteilkern und -oberfläche 15 K möglichst nicht übersteigt. Um dies zu erreichen, sind die freien Oberflächen u.U. mit wärmedämmendem Material abzudecken und für die Wände die Ausschallfristen zu verlängern.

7.3 Wasserundurchlässige Bauwerke

7.3.1 Allgemeines

Seit vielen Jahrzehnten wird Beton für die Herstellung wasserundurchlässiger Bauwerke verwendet. Hierbei übernimmt der Beton neben seiner tragenden auch eine abdichtende Funktion. Durch den somit möglichen Verzicht auf zusätzliche äußere flächige Abdichtungen ist dieses Konstruktionsprinzip ausgesprochen wirtschaftlich.

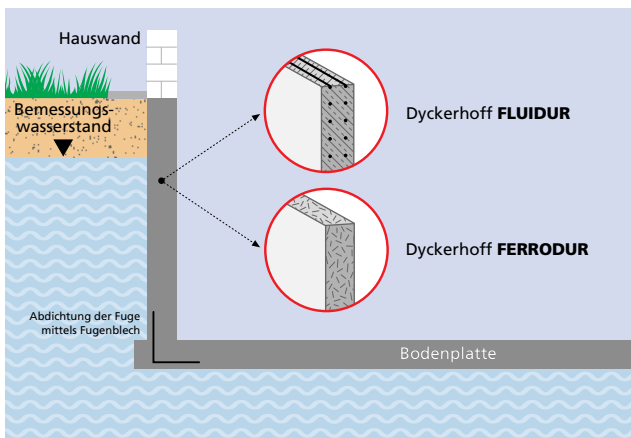


Abb 7.5: Wasserundurchlässige Bauwerke (Weiße Wannen) aus Beton ohne zusätzliche Abdichtung

7.3.2 Regelwerke

Allgemein verbindliche Regelwerke für den Betonbau sind derzeit die DIN 1045 mit den Teilen 1 bis 4 in Verbindung mit der DIN EN 206-1.

In Ergänzung zu DIN 1045-1 hat der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit die Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ (WU-Richtlinie) veröffentlicht. In dieser Richtlinie werden detaillierte Anforderungen an die Planung und Ausführung von wasserundurchlässigen Bauwerken gestellt.

Wasserundurchlässige Betonbauwerke sind so zu planen und auszuführen, dass die durch den Bauherrn festgelegten und in der Bedarfsplanung dokumentierten Gebrauchseigenschaften und Nutzungsanforderungen erfüllt werden. Die Richtlinie regelt die Planung und die Ausführung von wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton (WU-Betonbauwerke) hinsichtlich der Dichtfunktion gegenüber Wasser.

Die in der Richtlinie gestellten Anforderungen können nur durch intensive Zusammenarbeit aller Baubeteiligten erfüllt werden. Es ist insbesondere erforderlich, dass die technischen Verantwortlichkeiten der Baubeteiligten und der Koordinierungsbedarf für ihre Tätigkeit vom Bauherrn oder Objektplaner festgelegt und dokumentiert werden.

Die Zuordnung der Zuständigkeiten und die Leistungsarten nach HOAI bzw. VOB sind im Einzelfall vertraglich festzulegen.

7

7.3.3 Begriffe

Beanspruchungsklassen:

Die Beanspruchungsklasse – die Art der Beaufschlagung des Bauwerks oder Bauteils mit Feuchte oder Wasser – ist unter Berücksichtigung der Baugrundeigenschaften und des Bemessungswasserstandes festzulegen.

Beanspruchungsklasse 1:

Die Beanspruchungsklasse 1 gilt für ständig und zeitweise drückendes Wasser. Bei WU-Dächern gilt stets die Beanspruchungsklasse 1.

Anmerkung: Beanspruchungsklasse 1 gilt demnach für alle Wasserbeanspruchungen außer Bodenfeuchte und an der Wand ablaufendem Wasser.

Beanspruchungsklasse 2:

Die Beanspruchungsklasse 2 gilt für Bodenfeuchte und an der Wand ablaufendem Wasser.

Nutzungsklassen:

Die Nutzungsklasse ist in Abhängigkeit von den Nutzungsanforderungen an das Bauwerk oder Bauteil festzulegen.

Nutzungsklasse A:

Für Bauwerke oder Bauteile der Nutzungsklasse A sind Feuchtstellen auf der luftseitigen Bauteiloberfläche als Folge von Wasserdurchtritt nicht zulässig.

Anmerkung: Differenzierte Empfehlungen für die Nutzungsklasse A sind z. B. im DBV-Merkblatt „Hochwertige Nutzung von Untergeschossen – Bauphysik und Raumklima“ enthalten.

Nutzungsklasse B:

Für Bauwerke oder Bauteile der Nutzungsklasse B sind Feuchtstellen auf der luftseitigen Bauteiloberfläche als Folge von Wasserdurchtritt zulässig.

7

Anschlussmischung:

Besteht aus einem WU-Beton mit einem Größtkorn der Gesteinskörnung von max. 8 mm Durchmesser, der erforderlichenfalls im unteren Anschlussbereich von Wänden einzusetzen ist.

7.3.4 Planung

Die Planung umfasst die Festlegung und Umsetzung der Nutzungsanforderungen an das Bauwerk und der erforderlichen Regelungen zur Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit für Entwurf und Ausführung.

Die Koordination für ein WU-Bauwerk obliegt dem Objektplaner. Bei der Planung sind mindestens die folgenden, die Wasserundurchlässigkeit beeinflussenden Aufgaben und Maßnahmen einzeln und in ihrem Zusammenwirken zu berücksichtigen:

- a) Bedarfsplanung (dokumentierte Nutzungsanforderungen);
- b) Festlegung der Beanspruchungsklasse und erforderlichenfalls Berücksichtigung angreifender Wässer und Böden;

- c) Festlegung einer oder mehrerer Nutzungsklassen und des Nutzungsbeginns;
- d) bauteilbezogene Wahl eines Entwurfsgrundsatzes: „Risse vermeiden“, „Rissbreiten für Selbstheilung begrenzen“, „Einzelrisse zulassen und planmäßig abdichten“;
- e) Festlegen der aus den Entwurfsgrundsätzen folgenden konstruktiven, betontechnischen und ausführungstechnischen Maßnahmen (z. B. Festlegung von Betoneigenschaften, die der Bemessung zugrunde liegen);
- f) Wahl von Bauteilabmessungen, Bewegungsfugen, Sollrissfugen;
- g) Bemessung und Bewehrungskonstruktion;
- h) Planung von Einbauteilen und Durchdringungen;
- i) Planung von Bauablauf, Betonierabschnitten, Arbeitsfugen, einschließlich der erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen;
- j) Planung des geschlossenen Fugenabdichtungssystems;
- k) Planung und Ausschreibung der Abdichtung für alle planmäßigen und unplanmäßigen Trennrisse;
- l) Dokumentation aller relevanten Festlegungen und Entscheidungen in der Planung und Weitergabe an alle Beteiligten (WU-Konzept);
- m) Beschreibung der für die Nutzung möglicherweise folgenden Einschränkungen (z. B. wasserführende Risse, Annahmen für den Zeitraum und die Bedingungen für die Selbstheilung).

7.3.5 Beton

Die Wasserundurchlässigkeit eines sachgerecht zusammengesetzten und praktisch vollständig verdichteten Betons wird weitgehend von der Beschaffenheit des Zementsteins bestimmt. Die Dichtigkeit des Zementsteins hängt von der Größe des Kapillarporenraums ab, welcher mit steigendem Wasserzementwert zunimmt.

Neben den Anforderungen, die sich aus den für das Bauteil zutreffenden Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1/NA ergeben, sind die Anforderungen an Beton mit hohem Wassereindringwiderstand (WU-Beton) nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 einzuhalten.

Bei Ausnutzung der Mindestbauteildicken (vgl. Tabelle 7.2), ist bei Beanspruchungsklasse 1 ein WU-Beton mit einem $(w/z)_{eq} \leq 0,55$ und bei Wänden zusätzlich ein Größtkorn der Gesteinskörnung $D_{max} \leq 16$ mm zu verwenden. Diese zusätzlichen Anforderungen sind in die Ausschreibung und in die Ausführungsunterlagen aufzunehmen.

Anmerkung: Eine Ausnutzung der Mindestbauteildicken liegt dann nicht mehr vor, wenn mindestens 15 % größere Bauteildicken gewählt werden.

Bei Verwendung eines Betons mit hohem Wassereindringwiderstand (WU-Beton) ist gemäß DIN 1045-2 eine Mindestdruckfestigkeitsklasse von C25/30 rechnerisch zugrunde zu legen. Bei Ausnutzung der Mindestbauteildicken (vgl. Tabelle 7.2), ist in der Regel die zentrische Zugfestigkeit eines C30/37 rechnerisch anzusetzen.

Anmerkung: Aus statischen Gründen und durch bestimmte Expositionsklassen können höhere Festigkeitsklassen und niedrigere Wasserzementwerte erforderlich werden.

Es sollte die Konsistenzklasse F3 oder weicher verwendet werden. Bei der Festlegung des Betons sind unter Berücksichtigung der Randbedingungen (Witterung, Bauteildicke) und der geplanten betontechnischen und ausführungstechnischen Maßnahmen die folgenden Parameter zu beachten, welche die Entstehung von Zwang beeinflussen:

- Frischbetontemperatur,
- Hydratationswärmeentwicklung des Betons,
- Festigkeitsentwicklung des Betons,
- Nachbehandlung.

In Wänden muss bei freien Fallhöhen von mehr als 1 m eine Anschlussmischung verwendet werden, um einen fehlerstellenfreien Betoneinbau am Fußpunkt sicherzustellen. Für Elementwände mit den Mindestwanddicken (vgl. Tabelle 7.2), muss immer eine Anschlussmischung verwendet werden. Die Anschlussmischung ist auf einer Höhe von mindestens 300 mm vorzusehen.

7

Tabelle 7.1: Anforderungen an den Beton mit hohem Wassereindringwiderstand nach DIN 1045-2/DIN EN 206-1

Bauteildicke > 0,40 m	Bauteildicke ≤ 0,40 m
$(w/z)_{eq} \leq 0,70$	$(w/z)_{eq} \leq 0,60$
–	Mindestzementgehalt von 280 kg/m ³ (bei Anrechnung von Zusatzstoffen 270 kg/m ³)
–	Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30

Tabelle 7.2: Empfohlene Mindestgesamtdicken von WU-Bauteilen
(Angaben in mm)

Bauteil	Beanspruchungsklassen	Ausführungsart		
		Ortbeton	Elementwände oder Elementdecken mit Ortbetonerfüllung	Fertigteile
Wände	1	240	240 (120 ²⁾)	200
	2	200	240 ¹⁾ (120 ²⁾)	100
Bodenplatte	1	250		200
	2	150		100
Dächer ohne dämmung	1	200	240 (180 ²⁾)	180
Dächer mit Wärmedämmung	1	180	220 (160 ²⁾)	160

- 1) unter Beachtung besonderer betontechnischer und ausführungstechnischer Maßnahmen ist eine Abminderung auf 200 mm möglich.
- 2) Mindestwerte für die Ortbetonerfüllung. Für den WU-Beton gilt Abschnitt 7.1 (2). Bei Zulagebewehrung und innenliegenden Fugenabdichtungen sind gegebenenfalls auch zusätzliche Anforderungen an die lichten Innenmaße gemäß Abschnitt 7.2 (3) zu beachten.

7.3.6 Überwachung

In Tabelle 7.3 wurde eine Zuordnung für WU Bauwerke in die entsprechende Überwachungsklasse in Abhängigkeit von der Beanspruchungsklasse und der Festigkeitsklasse vorgenommen.

Tabelle 7.3: Überwachungsklassen für WU-Baustoffe (gem. DIN 1045-3, Tabelle 4)

	ÜK 1	ÜK 2	ÜK 3
Festigkeitsklassen für Normalbeton	≤ C25/30	≥ C30/37 ≤ C50/60	≥ C55/67
Expositionsklassen	X0, XC, XF1	XA, XD, XS, XM, ≥ XF2	–
Besondere Beton-eigenschaften	–	Beton für WU-Baukörper ¹⁾	–

- ¹⁾ Die WU-Richtlinie unterscheidet in der Beanspruchungsklasse BK1 sprachlich nur zeitweise (BK1-zdW) und ständig drückendes Wasser (BK1-sdW). Nach DIN 13670 / DIN 1045-3/NA darf Beton mit hohem Wassereindringwiderstand in die Überwachungsklasse ÜK1 eingeordnet werden, wenn der Baukörper maximal nur „zeitweilig aufstauendem Sickerwasser“ ausgesetzt ist und wenn in der Projektbeschreibung nichts anderes festgelegt ist. Aufgrund dieser sprachlichen Diskrepanz in den Regelwerken wird eine vorherige Klärung mit den anerkannten Überwachungsstellen und zudem das Einholen der Zustimmung des Bauherrn empfohlen. [Quelle: „Weiße Wannen einfach und sicher“ Lohmeyer, Gottfried/Ebeling, Karsten; 11. überarbeitete Auflage 2018.]

7

Beanspruchungs-klasse 1 (Regelfall)	ÜK 2	Ständig (BK1-sdW) und zeitweise drückendes Wasser (BK1-zdW)
	ÜK 1	WU-Dächer
Beanspruchungs-klasse 2 (Ausnahmefall)	ÜK 1	Bodenfeuchtigkeit (BK2-Bf)
	ÜK 1	an der Wand ablaufendes Wasser (BK2-faW)

Eine direkte Prüfung der Wassereindringtiefe ist nach DIN 1045-2 und WU-Richtlinie nicht gefordert. Soll ein bestimmter Widerstand gegen das Eindringen von Wasser an Probekörper bestimmt werden, so müssen das Prüfverfahren (z.B. DIN EN 12390-8), die Prüfhäufigkeit und die Konformitätskriterien zwischen dem Verfasser der Festlegungen und dem Hersteller vereinbart werden.

7.4 Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

DAfStB-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“, März 2011

Vorbemerkung

Gemäß § 62 WHG (Wasserhaushaltsgesetz) müssen Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Herstellen, Behandeln und Verwenden von wassergefährdenden Stoffen so beschaffen sein und so errichtet, unterhalten und betrieben werden, dass eine nachteilige Veränderung der Eigenschaften von Gewässern nicht zu besorgen ist. Betonbauten nach dieser Richtlinie müssen bei den zu erwartenden Einwirkungen für eine jeweils festgelegte Dauer dicht sein, so dass dem Besorgnisgrundsatz des WHG unter Berücksichtigung der infrastrukturellen Gegebenheiten Genüge getan wird. Vorschriften aus anderen Rechtsbereichen sind zusätzlich zu berücksichtigen, z.B. Verordnung über gefährliche Stoffe (GefStoffV), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV).

Anwendungsbereich

Diese Richtlinie regelt, welche baulichen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit Betonbauten ohne Oberflächenabdichtung für Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Umschlagen (LAU-Anlagen) und zum Herstellen, Behandeln und Verwenden (HBV-Anlagen) gemäß EC2, DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 sowie DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3 dem Besorgnisgrundsatz § 62 WHG genügen. Nachfolgend sind die betontechnologischen Eckdaten der Richtlinie dargestellt.

Tabelle 7.4: Anforderungen an Beton beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (Zusammenfassung)

Anforderungen nach DAfStB-Richtlinie „Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“		
Anforderung	Flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton)	Flüssigkeitsdichter Beton nach Eindringprüfung (FDE-Beton)
Allgemeines	FD-Beton ist ein Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit optimiertem Widerstand gegen das Eindringen von wassergefährdenden Stoffen. Das Eindringverhalten ist Teil 2 dieser Richtlinie zu entnehmen.	FDE-Beton ist ein Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, der in seiner Zusammensetzung von FD-Beton abweicht. Das Eindringverhalten wassergefährdender Stoffe wird stets in Eindringprüfungen im Rahmen der Erstprüfungen als zusätzliche Anforderung nachgewiesen.
Zemente	CEM I, CEM II-S, CEM II/A-D, CEM II/A-P, CEM II-V, CEM II-T, CEM II/A-LL, CEM III/A, CEM III/B CEM II-M Zemente mit Kombinationen aus den Hauptbestandteilen: S, D, P, V, T, LL: A/S-D, A/S-P, A/S-V, A/S-T, A/S-LL, A/D-D, A/D-V, A/D-T, A/D-LL, A/P-V, A/P-T, A/P-LL, A/V-T, A/V-LL, B/S-D, B/S-T, B/D-T, B/S-V, B/D-V, B/V-T, Zemente mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.	
Gesteinskörnung	<ul style="list-style-type: none"> – Bei starker Säurebeaufschlagung der Bauteile: unlösliche Gesteinskörnung verwenden. – Größtkorn: $16 \text{ mm} \leq D_{\text{max}} \leq 32 \text{ mm}$. – Empfehlung: Sieblinie im Bereich A/B. 	<ul style="list-style-type: none"> – Größtkorn: $D_{\text{max}} \leq 32 \text{ mm}$



Anforderungen nach DAfStB-Richtlinie „Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“

Anforderung	Flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton)	Flüssigkeitsdichter Beton nach Eindringprüfung (FDE-Beton)
Zusatzstoffe	<p>Flugasche nach DIN EN 450-1 und Silikastaub nach DIN EN 13263-1 dürfen gemäß DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.5, eingesetzt werden.</p> <p>Polymerdispersionen: Mit Zulassung für Betonanwendungen nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Feststoff- und Flüssigkeitsanteil bei w/z-Wert Ermittlung vollständig berücksichtigen. – Erforderlichenfalls Nachweis der chemischen Beständigkeit (siehe Richtlinie, Anhang A, Abschnitt A.4). 	
Zusatzmittel	Auch als LP-Beton möglich.	
Zugabewasser	Restwasser darf eingesetzt werden.	
Druckfestigkeitsklassen	≥ C30/37.	
Konsistenz	<ul style="list-style-type: none"> – Einbaukonsistenz F3. – Weichere Konsistenzen dürfen nur verwendet werden, wenn nachgewiesen wird, dass Entmischungen unter den gegebenen Einbaubedingungen sicher vermieden werden. 	
(w/z)_{eq}	≤ 0,50.	≤ 0,50.

Anforderung	Flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton)	Flüssigkeitsdichter Beton nach Eindringprüfung (FDE-Beton)
Zementleimgehalt (Volumen von Zement und Wasser)	<ul style="list-style-type: none"> - $L \leq 290 \text{ l/m}^3$. - Nur die auf den w/z-Wert angerechnete Zusatzstoffmenge zählt zum Leimvolumen. Beispiel: <ul style="list-style-type: none"> - $z = 280 \text{ kg/m}^3$ ($\rho_z = 3,00 \text{ kg/dm}^3$). - $f = 100 \text{ kg/m}^3$ ($\rho_f = 2,40 \text{ kg/dm}^3$). - $k_f = 0,40$. - $w = 160 \text{ kg/m}^3$. Anrechenbare Flugasche nach DIN 1045: <ul style="list-style-type: none"> - $f_{\max} = z \times 0,33$. - $280 \times 0,33 = 92,4 \text{ kg/m}^3$. - Bedingung: $f_{\max} \leq f$. Leimvolumen (L): <ul style="list-style-type: none"> - $L = z/\rho_z + (k_f \times f_{\max})/\rho_f + w$. - $L = 280/3,0 + (0,4 \times 92,4)/2,4 + 160$. - $L = 268,7 \text{ l/m}^3$. 	
Fasern	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz nicht möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> - Stahlfasern dürfen eingesetzt werden. - Die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ ist zu beachten.
Lieferung	Lieferscheine mit Istmengen-Ausdruck der Betonzusammensetzung vorgeschrieben.	

7.5 Faserbetone

Faserbeton ist Beton nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2, dem zum Erreichen bestimmter Eigenschaften Fasern zugegeben werden. Dabei sind im Wesentlichen Stahlfasern und Kunststofffasern, in Spezialfällen auch alkaliresistente Glasfasern, zu unterscheiden. Zur Ausnutzung der unterschiedlichen Vorteile der Faserarten werden zunehmend Kombinationen („Faserkomposit“) eingesetzt. Je nach Faserart können unterschiedliche Eigenschaften erzielt werden. Diese reichen von einer Reduktion der Schwindrissneigung (Kurz- und Mikrofasern) bis zum statisch wirksamen Ersatz konventioneller Bewehrung (Stahlfasern, Makrokunststofffasern). Der Einsatzbereich der einzelnen Faser ist in der jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassung der Faser geregelt.

7.5.1 Stahlfaserbetone

Stahlfaserbeton ist mittlerweile ein genormter Baustoff, der in der DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton geregelt ist. Bauteilzulassungen oder Zustimmungen im Einzelfall sind grundsätzlich nicht mehr erforderlich. Die Einteilung des Stahlfaserbetons in Leistungsklassen liefert dem Planer feste Bemessungswerte, vergleichbar mit der Druckfestigkeit für den Beton. Nicht erfasst von der Richtlinie sind Leichtbetone, hochfeste Betone ab C55/67, SVB, Stahlfaserspritzbeton sowie Bauteile aus vorgespanntem Stahlfaserbeton.

Stahlfasern sind in der DIN EN 14889-1 geregelt. Die Zugabe von Stahlfasern zum Beton verbessert die Duktilität sowie das Riss- und Bruchverhalten. Die beim Austrocknen des Betons entstehenden Mikrorisse und Risse werden durch die homogen verteilten Stahlfasern in ihrem Wachstum gehemmt bzw. gestoppt.

Darüber hinaus bieten die Faserhersteller und -lieferanten Bauteilzulassungen, auf die flächendeckend zurückgegriffen werden kann. FERRODUR ist Transportbeton für die verschiedensten Anwendungen von Stahlfaserbeton mit nachgewiesenen Produkteigenschaften (Faserbeton und/oder Leistungsklassen). Hierfür liegen werksbezogene Datenblätter vor, denen eine eindeutige Dosieranweisung und Qualitätssicherung zugeordnet ist.

Die erreichbare „Nachrisszugfestigkeit“ und damit die Höhe der durch die Fasern über den Riss übertragbaren Kräfte hängen dabei im Wesentlichen von folgenden Punkten ab:

- Leistungsfähigkeit der gewählten Stahlfasern,
- Dosiermenge der Stahlfasern,
- Verteilung und Orientierung der Stahlfasern im Beton,
- Güte und Zusammensetzung des Betons.

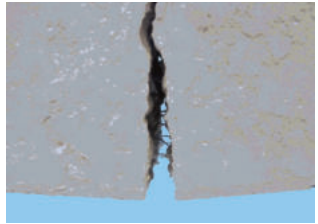


Abb. 7.6: Rissbild Stahlfaserbeton

Bei richtiger Dosierung und Verteilung der Stahlfasern werden durch die dreidimensionale Wirkung selbst oberflächennahe Bereiche (Kanten, Flächen) gegenüber mechanischen Beanspruchungen verstärkt und damit die Dauerhaftigkeit der Bauteile verbessert.

Die für den jeweiligen Transportbeton nachgewiesenen Leistungsklassen werden für FERRODUR auf dem Lieferschein dokumentiert. Unter Bemerkungen ist darüber hinaus der Bezug zur Berechnungsbasis (DAfStb-Richtlinie) ersichtlich. So ist die Einheit zwischen Bemessung und konstruktiver Durchbildung, Herstellung, Bauausführung und Überwachung des Stahlfaserbetons erreichbar. Stahlfaserbeton wird damit vergleichbar mit herkömmlich bewehrtem Beton.

7

7.5.2 Kunststofffaserbetone

In der Anwendung, die in Deutschland nicht genormt ist, wird bei Kunststofffasern zwischen Makro- und Mikrofasern unterschieden. Makrokunststofffaserbeton kann, ähnlich wie Stahlfaserbeton, ein ausgeprägtes Nachrissverhalten aufweisen. Hierfür sind nur solche Fasern geeignet, deren statische Wirksamkeit durch die bauaufsichtliche Zulassung bestätigt wird. Bei permanenter Lasteinwirkung sollte die Eignung der Faser über einen Dauerstandsversuch über 18 Monate nachgewiesen werden (Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik: Richtlinie Faserbeton, Ausgabe 7.2008).

Mikrofasern aus Polypropylen werden auf Grund ihrer Eigenschaften vorrangig für den Brandschutz (z.B. Hochfester Beton) und zur Reduktion der Schwindrissneigung von Beton verwendet.

7.5.3 Güteüberwachung und Qualitätssicherung bei der Ausführung von Faserbeton

Festlegung der Abläufe im Herstellwerk

- Rezepturwahl je Auftrag,
- Dosieranweisung (Reihenfolge, Mischzeit – Zwangsmischer oder Fahrmischer, Übergabegerät),
- Kontrolle Faserart, -herkunft, -menge,
- Fasermenge pro m^3 (Auswaschprüfung, andere Prüfungen),
- Bewertung Igelbildung.

Festlegung für den Transport

- Trommelbewegung (langsames Drehen).

Festlegungen für die Baustelle

- Konsistenzprüfung (Fasersedimentation vermeiden),
- Behandlung bei Igelbildung,
- Übergabeprotokollierung,
- Fasergehaltsbestimmung.



Abb. 7.7: Rissbild Kunststofffaserbeton mit Strux 90/40

7.6 Bohrpfahlbeton nach DIN EN 1536

7.6.1 Allgemeines

Bohrpfähle sind dadurch gekennzeichnet, dass ein Hohlraum im Baugrund hergestellt und der Pfahl gegen den anstehenden Boden betoniert wird. In der Regel wird die Bohrlochwandung bis zum Betonieren durch eine Verrohrung oder durch einen Flüssigkeitsüberdruck im Bohrloch gestützt. Die Norm gilt für Einzelpfähle, Pfahlgruppen und Bohrpfahlwände. Die Herstellung und Ausführung von Bohrpfahlbeton ist in DIN EN 1536 Ausgabe 12/2010 und in der ergänzenden Festlegung zur DIN EN 1536, der DIN SPEC 18140 geregelt.

7.6.2 Anforderungen an den Beton

Der Beton muss der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 entsprechen.

7.6.2.1 Festigkeitsklasse

- falls nicht anders gefordert, i.a. zwischen C20/25 bis C30/37,
- für Primärpfähle von Bohrpfahlwänden Festigkeitsklassen < C20/25 erlaubt.

7.6.2.2 Betonzusammensetzung

- Zementarten nach Tabelle 7.5,
- Gesteinskörnung nach DIN EN 12620,
- Größtkorn ≤ 32 mm bzw. $\leq 1/4$ des lichten Abstandes der Längsbewehrungsstäbe in Umfangsrichtung nicht überschreiten. Der kleinere Wert ist maßgebend.

Tabelle 7.5: Zementarten nach DIN EN 197-1 bzw. DIN 1164

CEM I		
CEM II/A-S	CEM II/B-S	
CEM II/A-D		
CEM II/A-V	CEM II/B-V	
CEM II/A-P	CEM II/B-P	
CEM II/A-T	CEM II/B-T	
CEM II/A-LL		
CEM II/A-M (S-V)	CEM II/B-M (S-V)	
CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C

- Zusatzmittel und Zusatzstoffe müssen den Anforderungen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 entsprechen. Es dürfen Betonverflüssiger, Fließmittel und Verzögerer als Zusatzmittel eingesetzt werden. Abweichend von den Regelungen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 darf fließfähiger Beton der Konsistenzklassen $\geq S4$, $V4$ und $\geq F4$ in der Regel ohne Fließmittel hergestellt werden.
- Betonzusammensetzung nach Tabelle 7.6.

Tabelle 7.6: Betonzusammensetzung

Zementgehalt: – Einbringen im Trockenen	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
– Einbringen unter Wasser	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$
Wasserzementwert (w/z)	$< 0,6$
Feinkornanteil $d < 0,125 \text{ mm}$ (einschließlich Zement)	
– Größtkorn $d > 8 \text{ mm}$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
– Größtkorn $d \leq 8 \text{ mm}$	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$

Bei Verwendung von Flugaschen nach DIN EN 450 Ausgabe 10/2012 in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 dürfen diese unter den Bedingungen gemäß DIN 1045-2 Abschnitt 5.2.5.2.2 angerechnet werden.

Abweichend davon gilt

- der Gehalt an Zement und Flugasche (z+f) darf bei einem Größtkorn von 32 mm 350 kg/m^3 und einem Größtkorn von 16 mm 400 kg/m^3 nicht unterschreiten,
- der Mindestzementgehalt bei Anrechnung von Flugasche darf bei einem Größtkorn von 32 mm 270 kg/m^3 und einem Größtkorn von 16 mm 300 kg/m^3 nicht unterschreiten,
- der äquivalente Wasserzementwert $(w/z)_{\text{eq}}$ wird lt. DIN SPEC 18140 mit $k_f = 0,70$ berechnet. Eine Anrechnung von Flugasche ist nicht zulässig bei Verwendung der Zemente CEM II/B-V, CEM III/C, CEM II/B-P, CEM II/A-D.

7

Tabelle 7.7: Konsistenzbereiche für Frischbeton bei unterschiedlichen Bedingungen

Ausbreitmaß [mm]	Absetzmaß (Slump) [mm]	Typische Anwendungsbedingungen (Beispiele)
$460 \leq \emptyset \leq 530$	$130 \leq H \leq 180$	– Betonieren im Trockenen
$460 \leq \emptyset \leq 530$ $530 \leq \emptyset \leq 600$	$H \geq 160$	– Pumpenbeton oder – mit Kontraktorrohren eingebrachter Unterwasserbeton
$570 \leq \emptyset \leq 630$	$H \geq 180$	– im Kontraktorverfahren unter Stützflüssigkeit eingebrachter Beton
Anmerkung: Das gemessene Ausbreitmaß (\emptyset) oder Absetzmaß (H) ist auf 10 mm zu runden.		

In aggressiven Böden und/oder aggressivem Grundwasser ist ausreichender Schutz z.B. durch die Betonrezeptur oder eine bleibende Hülse vorzusehen.

7.6.2.3 Überwachung

Die Bestimmungen der Überwachung nach DIN 1045-3, DIN EN 13670 werden in DIN SPEC 18140 Abschnitt 6.3.8.2.(1) geregelt.

7.7 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

7.7.1 ZTV-ING für Ingenieurbauten: Teil 3 Massivbau

Grundsätzlich gilt der DIN-Fachbericht „Beton“ bzw. DIN EN 206-1/ DIN 1045-2.

7.7.1.1 Ausgangsstoffe

Es dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 und DIN EN 13055 verwendet werden,

- max. Anteil an leichtgewichtigen, organischen Verunreinigungen
 - grobe Gesteinskörnung: 0,05 M.-% ($Q_{0,05}$),
 - feine Gesteinskörnung: 0,25 M.-% ($Q_{0,25}$),
- Kornformkennzahl
 - für gebrochenes Korn: mind. Sl_{20} ,
- Kornzusammensetzung
 - enggestufte Sieblinie,
 - keine Verwendung von Korngemischen 0/8 mm.

7.7.1.2 Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Verwendung von Zementen

Verwendung von Zementen nach DIN EN 197-1, DIN EN 197-4, DIN 1164-10 oder DIN 1164-11

- bei Verwendung von nicht genormten Zementen bauaufsichtliche Zulassung erforderlich,
- CEM II/M-Zemente nach DIN-Fachbericht 100, Tabelle F. 3.2 mit Zustimmung des Auftraggebers,
- CEM II/P-Zement nur mit Trass nach DIN 51043,
- bei Betonschutzwänden mit CEM III nur CEM III/A mit Hüttensandanteil ≤ 50 M.-%,
- für Kappenbetone darf CEM III nicht verwendet werden,
- CEM III/B und Flugasche für Gründungsbauteile (wie z. B. Bohrpfähle) erlaubt.

Gesteinskörnungen bis 8 mm: ≥ 2 Korngruppen

bis 16 mm: ≥ 3 Korngruppen

Alle Bauwerke im Bereich von Bundesfernstraßen werden in die Feuchtigkeitsklasse WA nach der Alkali-Richtlinie des DAfStb eingeordnet. Vgl. hierzu Kapitel 2.5.3, Maßnahmen gegen schädigende Alkaliaktion.

Zusatzstoffe

- Verwendung von Zusatzstoffen nach DIN EN 12620, DIN EN 12878, DIN EN 450-1, DIN EN 13263-1, DIN 51043,
- bei nicht genormten Zusatzstoffen ist eine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich,
- max. Flugaschegehalt $f \leq 60$ % vom Zementgehalt, anrechenbarer Flugaschegehalt $f \leq 80$ kg/m³,
- bei Bohrpfahlbeton mit CEM III/B darf Flugasche zugegeben werden, weitere Anwendungsgebiete von CEM III/B nur mit Zustimmung des Auftraggebers,
- bei Brückenkappen (Expositionsklassen XF4 und XD3) keine Anrechnung von Flugasche,
- Anrechnung von Flugasche bei XF2 nur bei Verwendung von CEM I und CEM II/A,

- Anrechnung von Flugasche bei XF4 nur mit Zustimmung des Auftraggebers,
- gleichzeitige Verwendung von Flugasche und Silikastaub nur mit Zustimmung des Auftraggebers.

Zusatzmittel

- je Wirkungsgruppe ist nur ein Betonzusatzmittel zulässig,
- Wirkstoffgruppen Saccharose und Hydroxycarbonsäure sind nicht zulässig,
- Nachdosierung von FM nur bei Ausbreitmaß $> a_0$ vor der Erstdosierung,
- bei Verwendung von Luftporenbildern FGSV „Merkblatt für die Herstellung von LP-Beton“ beachten,
- Verwendung von PCE nur in Verbindung mit den Ausgangsstoffen und den Temperaturbedingungen wie bei der Erstprüfung.

Betontemperaturen

Generell ist zu beachten:

$$T_{\text{Frischbeton}} \leq 30 \text{ °C.}$$

Bei Tunnelinnenschalen von zweilagig ausgeführten Tunneln sowie Tunneldecken und -wänden in offenen Bauwerken gilt:

$$T_{\text{Frischbeton}} \leq 25 \text{ °C.}$$

Luftgehalt bzw. Luftporenkennwerte im Frischbeton

siehe Tabellen 7.8 und 7.9.

Tabelle 7.8: 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 7.9) 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.

Tabelle 7.9: Luftporenkennwerte im Festbeton

Art der Prüfung	Mikro-Luftporengehalt L300 [Vol.-%]	Abstandsfaktor AF [mm]
Erstprüfung	≥ 1,8	≤ 0,20
Prüfungen am Bauwerk und Kontrollprüfungen	≥ 1,5	≤ 0,24

7

7.7.1.3 Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Für die Zuordnung von Bauteilen zu den Expositionsklassen gelten folgende Festlegungen:

- vorwiegend horizontale Betonflächen und Betonschutzwände:
XF4, XD3,

- lotrechte Betonflächen im Spritzwasserbereich: XF2, XD2,
- lotrechte Betonflächen, die ausschließlich durch Sprühnebel beansprucht werden: XF2, XD1,
- Gründungen, je nach Beanspruchung: XD2,
- Trogsohlen, Tunnelsohlen bei Ausführung:
 - als Weiße Wanne: XD2,
 - mit außenliegender Folienabdichtung: XD1,
- Tunnelinnenschalen von zweilagig ausgeführten Tunneln in geschlossener Bauweise sowie Tunnelwände und -decken in offener Bauweise: XD1, XF2,
- Tunnelwände und -decken in offener Bauweise als wasserundurchlässige Baukonstruktion: XD2, XF2,
- Einfahrtsbereiche von Tunneln: XF2, XD2.

7.7.1.4 Anforderungen an Frischbeton/Festbeton

- Fließmittel darf grundsätzlich nur Beton der Konsistenzklassen F2 bzw. C2 oder steifer zugegeben werden,
- Frischbeton der Konsistenzklasse F3 bzw. C3 und weicher darf FM nur zugegeben werden, wenn diese Konsistenzklasse bereits durch verflüssigende Zusatzmittel hergestellt wurde,
- F6-Betone nur mit Zustimmung des Auftraggebers,
- alle sichtbar bleibenden Betonflächen sind in Sichtbeton auszuführen.

7.7.1.5 Nachbehandlung

- Nachbehandlung immer erforderlich,
- abweichend von DIN 1045-3 muss Beton in den Expositionsklassen XC3, XC4, XF, XD, XA so lange nachbehandelt werden, bis die Festigkeit des oberflächennahen Betons ≥ 70 % der charakteristischen Festigkeit beträgt,
- ohne genauen Nachweis sind die Werte nach DIN 1045-3, Tabelle 2 (s. Tabelle 6.35) zu verdoppeln.

Tabelle 7.10: Grenzwerte der Betonzusammensetzung

Graue Schraffur: Abweichung von DIN EN 206-1/ DIN 1045-2	XF2	XF3		XD2; XA2	XF4 zusammen mit XD3
Höchst- zulässiger w/z- Wert	0,50	0,50	0,55	0,50	0,50
Mindestdruck- festigkeitsklasse	C30/37	C30/37	C25/30	C30/37	C25/30
Min. Z (kg/m ³)	320	320	300	320	320
Min. Z+FA (kg/m ³)	keine Anrechnung	270+50	270+30	270+50	keine Anrechnung
LP	–	–	X	–	X
andere Anforderungen	Gesteinskörnung NaCl-Verfahren ≤ 8 M.-%	Gesteins- körnung F ₂	Gesteins- körnung F ₂	ggf. SR- Zement	Gesteinskörnung NaCl-Verfahren ≤ 8 M.-%
Bauteile (Für Über- bauten gilt DIN EN 206-1/ DIN 1045-2)	Widerlager, Stützen, Pfeiler, Bohrpfähle, Tunnelsohlen, Tunnelwände, Tunnelschalen, Trogsohlen, Trogwände.	Gründungen (z.B. Bohrpfähle)		Widerlager, Stützen, Pfeiler, Bohrpfähle, Tunnelsohlen, Tunnelwände, Tunnelschalen, Trogsohlen, Trogwände.	Kappen, Beton- schutz- wände.

7.7.2 ZTV-W für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (LB 215)

Die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton“ gelten für den Bau von Wasserbauwerken einschließlich deren Nebenanlagen, z. B. Schleusen, Wehren, Sperrwerken, Schöpfwerken, Dückern, Durchlässen, Hafengebäuden, Uferwänden wenn nicht anders vereinbart. Sie gelten nicht für Straßen-, Eisenbahnbrücken und Tunnel (vgl. hierzu ZTV-Ing). Die zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) gelten in Verbindung mit DIN EN 206-1 und DIN 1045-1 bis DIN 1045-4. Bei Wasserbauwerken gemäß ZTV-W ist von einer Nutzungsdauer von 100 Jahren auszugehen.

7.7.2.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Ausgangsstoffe	Anforderungen
Zement	Folgende Zemente nach DIN EN 197-1, DIN EN 197-4 und DIN 1164: <ul style="list-style-type: none">– CEM I,– CEM II/A-S, CEM II/B-S,– CEM II/A-T, CEM II/B-T,– CEM II/A-LL,– CEM II/A-M (S-LL), CEM II/A-M (S-T), CEM II/B-M (S-T), CEM II/A-M (T-LL),– CEM III/A, CEM III/B.
Gesteinskörnung	<ul style="list-style-type: none">– Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620/DIN V 20000-103,– Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1/DIN V 20000-104,– industriell hergestellte Gesteinskörnungen sind nicht zulässig,– Unschädlichkeit von Feinanteilen feiner Gesteinskörnungen ist nachzuweisen,– Nachweis des Frostwiderstands oder des Frost-Tausalz-Widerstands darf zu keinem Zeitpunkt der Bauausführung älter als 6 Monate sein,– rezyklierte Gesteinskörnungen sind nicht zulässig.

7.7.2.1 Anforderungen an die Ausgangsstoffe (Fortsetzung)

Ausgangsstoffe	Anforderungen
Zugabewasser	<ul style="list-style-type: none">– nach DIN EN 1008,– anderes Wasser als Trinkwasser, Brunnenwasser oder Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung ist nicht zulässig.
Zusatzmittel	<ul style="list-style-type: none">– BV, FM, LP, VZ,
Zusatzstoffe	<ul style="list-style-type: none">– Flugasche nach DIN EN 450-1 oder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung,– Die Flugasche muss für die Dauer der Bauzeit aus demselben Kraftwerksblock stammen,– Wechsel der Flugasche bei Lieferengpässen nur nach Abstimmung mit dem Auftraggeber und neuen Eigungsprüfungen; Ersatzflugasche ist vor Baubeginn zu nennen,– Silikastaub.

7.7.2.2 Anforderungen an die Betonzusammensetzung

Ausgangsstoffe	Anforderungen
Gesteinskörnung	<ul style="list-style-type: none"> – stetige Sieblinie AB, – bei Größtkorn > 8 mm mindestens 3 Korngruppen, – Anteil an organischen Verunreinigungen bei feiner Gesteinskörnung < 0,25 M.-%, bei grober Gesteinskörnung < 0,05 M.-%, – Kornform von grober, gebrochener Gesteinskörnung mind. S₁₄₀, – Widerstand gegen Zertrümmerung bei gebrochenem Felsgestein mind. Kategorie LA₅₀ oder SZ₃₂, – grobe Gesteinskörnung muss eng gestuft sein, – keine Verwendung von Korngemischen, – bei der Beurteilung der Gesteinskörnungen ist die Alkali-Richtlinie des DAfStb sowie der Einführungserrlass des BMVI zu beachten.
Zusatzmittel	<ul style="list-style-type: none"> – innerhalb eines Betons nur 1 Zusatzmittel je Wirkungsgruppe, – bei mehreren Zusatzmitteln gleicher Hersteller, – Höchstdosierung nach Angabe des Herstellers, Summe aller Zusatzmittel < 5% vom Zementgewicht, – Fließmittel der Wirkstoffgruppen Polycarboxylat und Polycarboxylatether dürfen nur mit den gleichen Betonausgangsstoffen, mit denen die Erstprüfung durchgeführt wurde, und nur in den Betontemperaturbereichen, die in der Erstprüfung zugrunde lagen, verwendet werden, – Betonzusatzmittel mit den Wirkstoffgruppen Saccharose und Hydroxycarbonsäure dürfen nicht verwendet werden, – Verzögerungszeiten über 12 Stunden sind mit dem AG abzustimmen.

7.7.2.3 Anforderungen an Frisch- und Festbeton

Beton	Anforderungen
Frischbeton	<ul style="list-style-type: none"> – Es dürfen nur Betone mit einem Zielwert des Ausbreitmaßes von maximal 480 mm eingesetzt werden. Für LP-Beton darf der Zielwert maximal 450 mm betragen. Andere Zielwerte sind nur für Beton für engbewehrte Bereiche und Zweitbeton nach BAW-MZB in Abstimmung mit dem Auftraggeber zulässig. – Beton der Konsistenzklassen $\geq F4$ ist mit verflüssigenden Zusatzmitteln herzustellen; die Ausgangskonsistenz muss $\leq F2$ sein, – Abweichung der Konsistenz vom Zielwert: ± 30 mm, – bei gleichzeitiger Verwendung von BV/FM und LP sowie bei LP-Beton $\geq F3$: Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% erhöhen¹⁾, – bei zu vakuumierenden Böden der Expositionsclassen XF2, XF3 oder XF4 ist der Mindestluftgehalt des Betons um 1 Vol.-% zu erhöhen, – Frischbetontemperatur: <ul style="list-style-type: none"> – Beton für Bauteile mit Abmessung $\leq 0,80$ m: $\leq +30$ °C an der Übergabe- und Einbaustelle, – Beton für massive Bauteile: <ul style="list-style-type: none"> – $\leq +25$ °C an der Übergabe- und Einbaustelle und – maximale Temperaturerhöhung $\Delta T_{\text{qadiab}, 7d}$: siehe Tabelle 7.11 und – maximale Bautemperatur $\Delta T_{\text{qadiab}, 7d} + T_{\text{Beton}}$: siehe Tabelle 7.11, – Nachträgliche Wasserzugabe ist nicht erlaubt.
Festbeton	<ul style="list-style-type: none"> – Nachweis der Druckfestigkeitsklasse: <ul style="list-style-type: none"> – in der Regel im Alter von 28 d, – bei massigen Bauteilen nach DAfStb-Richtlinie auch im Alter von 56 d; späterer Nachweis nur mit Zustimmung des Auftraggebers, – Druckfestigkeit von Beton für massive Bauteile: $f_{cm,28} \leq$ Grenzwert nach Tabelle 7.11, – Wassereindringtiefe nach DIN EN 12390-8: ≤ 30 mm.

¹⁾ Bei LP-Beton entspricht der einzuhaltende Mindestluftgehalt im Frischbeton dem Luftgehalt, der in der Eignungsprüfung bei der Prüfkörperherstellung zum Nachweis des Frost- bzw. Frost-Tausalzwidehrstand eingestellt worden ist. Die Grenzwerte der DIN EN 206-1 sind einzuhalten.



Tabelle 7.11: Anforderungen an Beton für massige Bauteile (Abmessung > 0,80 m)

Beton mit Expositionsclassen	Beispiel (informativ)	$\Delta T_{\text{qadiab, 7d}}$	$\Delta T_{\text{qadiab, 7d}} + T_{\text{Beton}}$	$f_{\text{cm, 28d}}^{1)}$
		[K]	[°C]	[N/mm ²]
1	2	3	4	5
XC1/XC2	Schleusensole	≤ 28 (33)	≤ 53	≤ 41
XC1/XC2 +XA1	Schleusensole in chemisch schwach angreifender Umgebung	≤ 31 (36)	≤ 56	≤ 43
XC1...4 + XF3 (+ XM1)	Schleusenkammerwand zwischen UW und OW	≤ 36 (41)	≤ 61	≤ 46
XC1...4 + XF4+ XS3 + XA2 (+ XM1)	Vertikale Flächen im Wasserwechselbereich von Meerwasser	≤ 40 (45)	≤ 65	≤ 49
XC1/XC2 + XA4 (+XS2)	Schleusensole in chemisch mäßig angreifender Umgebung und Meerwasserbauwerke	≤ 36 (41)	≤ 61	≤ 46

- 1) Bei Frischbetontemperaturen ≤ 15 °C dürfen die in Klammern gesetzten Werte verwendet werden.
- 2) Hinsichtlich der Zulässigkeit eines von 28d abweichenden Zeitpunktes für den Nachweis der Festigkeitsklasse siehe Abschnitt 5.5 der DIN EN 206-1. Allerdings ist auch für einen von 28 Tagen abweichenden Zeitpunkt des Nachweises der Festigkeitsklasse die Einhaltung von $f_{\text{cm, cube, 28d}}$ nachzuweisen.

7.7.2.4 Anforderungen in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Expositions-klasse	Anforderungen
XC2	– Mindestdruckfestigkeitsklasse für tragende Bauteile: C20/25.
XF3	– Frostwiderstandsklasse der Gesteinskörnung: F ₁ , – Frostprüfungen am Frischbeton nach Merkblatt der Bundesanstalt für Wasserbau im Rahmen der Erstprüfung erforderlich, – Betone für die Expositionsklasse XF3 müssen einen Mindestluftgehalt gemäß DIN EN 206-1, Tabelle F.2.2, Fußnote f, bzw. DAfStb-1, Tabelle F.2.2, Fußnote f, aufweisen.
XF4	– Frostprüfungen am Festbeton nach Merkblatt der Bundesanstalt für Wasserbau im Rahmen der Erstprüfungen erforderlich.
XD2, XS2 XD3, XS3	– CEM I und CEM II-Zemente mit mind. 20 % (z+f) Flugasche, – CEM III/A mit mind. 10% (z+f) Flugasche, – CEM III/B.
XM2	Bauteile mit Beanspruchung durch Hydroabrasion: – Mindestdruckfestigkeitsklasse: C35/45, – $w/z \leq 0,45$, – Mindestzementgehalt: 270 kg/m ³ , – Größtkorn 16 mm, – Rundkorn mit mind. 70% quarzitischem Anteil.

7

7.7.2.5 Mindestdauer der Nachbehandlung von Beton für Wasserbauwerke

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

¹⁾ Zwischenwerte dürfen eingeschaltet werden.

²⁾ NB-Zeit bei Verarbeitbarkeitszeit > 5 h angemessen verlängern.

³⁾ NB-Zeit bei Temperaturen < 5 °C um die Zeitdauer verlängern, während der die Temperatur < 5 °C lag.

⁴⁾ Für XM2 und XM3 Minstdauer der Gesamtnachbehandlung verdoppeln, maximal 30 Tage.

7.7.3 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien TL Beton-StB, ZTV Beton-StB, TP Beton-StB

7.7.3.1 Allgemeines

- Die „Technischen Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“ (TL Beton-StB) enthalten Anforderungen an Baustoffe, Baustoffgemische und an Einbaugemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Beton, die aus diesen Baustoffen hergestellt werden,
- die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“ (ZTV Beton-StB) enthalten Anforderungen für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton,
- die „Technischen Prüfvorschriften für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“ (TP Beton-StB) regeln die Prüfungen der Baustoffe, Baustoffgemische und Einbaugemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Beton, die aus diesen Baustoffen hergestellt werden.

7

7.7.3.2 Anforderungen an die Ausgangsstoffe

Zemente für Fahrbahndeckenbeton



Tabelle 7.12: Zemente nach DIN EN 197 und DIN 1164

Sorten	Zusätzliche Anforderungen
CEM I 32,5 R oder CEM I 42,5 N CEM II/A-LL ¹⁾ CEM II/A-S ¹⁾ CEM II/B-S ¹⁾ CEM II/A-T ¹⁾ CEM II/B-T ¹⁾ CEM III/A $\geq 42,5$ ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> – Erstarren bei 20 °C ≥ 2 h²⁾, – Spez. Oberfläche $\leq 3\,500$ cm²/g³⁾, – Wasseranspruch $\leq 28,0$ M.-%³⁾, – 2-Tage-Druckfestigkeit $\leq 29,0$ MPa³⁾, – Na₂O-Äquivalent (siehe Tabelle 7.13), – Ober- und Unterbeton mit gleicher Zementart und Festigkeitsklasse⁴⁾, – bei alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen ist die Alkali-Richtlinie zu beachten⁵⁾, – Zementtemperatur < 80 °C.

1) Mit Zustimmung des Auftraggebers.

2) Gilt nicht für CEM 42,5 R bei frühhochfestem Straßenbeton.

3) Gilt nur für CEM I 32,5 R.

4) Bei zweischichtiger Herstellung der Decke.

5) Siehe auch die Kapitel 1, 2 und 6.

7

Tabelle 7.13: Geforderter charakteristischer Wert des Alkaligehaltes von Zementen für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton

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

Betonzusatzstoff

DIN EN 206-1/DIN 1045-2 oder TL Gestein-StB 04.

Keine Anrechnung auf den Zementgehalt und Wassorzementwert.

Gesteinskörnungen

- Anforderungen DIN EN 12620 und darüber hinaus erhöhte Anforderungen gemäß Tabelle 7.14,
- keine Verwendung von reaktiven Gesteinskörnungen nach Alkali-Richtlinie,
- der Nachweis der Unbedenklichkeit der gewählten groben Gesteinskörnung nach DIN 12620 mit Korngruppen $d \geq 2$ mm bzw. des Fahrbahndeckenbetons hinsichtlich einer schädigenden Alkalireaktion ist für die Feuchtigkeitsklasse WS gemäß den Verfahren nach ARS Nr. 4/2013 nachzuweisen!

Tabelle 7.14: Anforderungen an die Gesteinskörnung

Zusätzliche Anforderungen			
für Beton einschichtiger Herstellung bzw. Oberbeton bei zweischichtiger Herstellung		für den Unterbeton	
– Frost-Tausalz-Widerstand Prüfung nach DIN EN 1367-1: Masseverlust ≤ 8 M.-% (siehe auch Tabelle 2.6), alternativ Nachweis durch Prüfung am Beton möglich Masseverlust ≤ 500 g/cm ² ,			
– leichtgewichtige organische Bestandteile			
feine Gesteinskörnung	Q _{0,25}	Korgemisch	Q _{0,1}
grobe Gesteinskörnung	Q _{0,05}		
– Belastungsklasse Bk 100–Bk 1,8 Gesteinskörnung > 8 mm: mindestens 50 M.-% gebrochen; Gesteinskörnung gesamt: mindestens 35 M.-% gebrochen Kornform gebrochen Gesteinskörnung min. Kategorie Sl ₂₀ oder Fl ₂₀ bei Oberbeton mit 4 cm Dicke: Gesteinskörnung > 4 mm und ≤ 8 mm ausschließlich gebrochen mit Kategorie C _{100/0} oder C _{90/1}			
– Widerstand gegen Polieren: Belastungsklasse Bk 100–Bk 1,8 mit normaler Beanspruchung PSV ₄₈ ; mit besonders starker Beanspruchung PSV ₅₃ ; Belastungsklasse Bk 1,0–Bk 0,3 mit normaler Beanspruchung PSV ₄₂ .			
Bei alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen ist die Alkalierichtlinie zu beachten. Bei Fahrbahndecken (WS) ist nach ARS Nr. 04/2013 eine gutachterliche Stellungnahme erforderlich.			

Betonzusatzmittel

Wirksamkeitsprüfung erforderlich bei: LP + FM und LP + BV. Andere Zusatzmittel als LP dürfen nur nach Vereinbarung und Erstprüfung verwendet werden. Vgl. Kapitel 3, Zusatzmittel.

7.7.3.3 Anforderungen an den Beton

Betonzusammensetzung

Tabelle 7.15: Anforderungen an die Betonzusammensetzung

	Belastungs- klasse	Anforderungen
Zementgehalt	Bk100 – Bk1,8 sonst	– Mindestens 340 kg/m ³ , aufgrund von Erstprüfungen – Waschbeton > 420 kg/m ³ .
Mehlkorn- und Feinstsandgehalt	Bk100 – Bk1,8	– Allgemein: ≤ 450 kg/m ³ , Beton mit Größtkorn 8 mm: ≤ 500 kg/m ³ – Beton mit Fließmittel: ≤ 500 kg/m ³ , – Waschbeton > 500 kg/m ³ .
Kornzusammen- setzung der Gesteinskörnung	Bk100 – Bk1,8	– Mindestens 3 Korngruppen: 0/2, 2/8, > 8 od. 0/4, 4/8, > 8, – GS > 8 mm mindestens 50 M.-% der Kategorie C _{90/1} im Oberbeton, – Korngemisch mindestens 35 M.-% der Kategorie C _{90/1} . Bei Waschbeton: – Korngemisch D < 8 mm (WB) mind. aus Korngruppe 0/2 und einer Korn- gruppe mit d > 2 mm, – Anteil > 2 mm muss Kategorie C _{100/0} , oder C _{90/1} , Fl ₁₅ oder Sl ₁₅ erfüllen. Anteil feiner GS bei Bk100–Bk1,8: 1 mm – Sieb < 27 M.-%, 2 mm – Sieb < 30 M.-%, Beton mit Größtkorn 8 mm 35 M.-%.
	Bk1,0, Bk0,3	– Mindestens 2 Korngruppen: 0/4 und > 4 mm, – Größtkorn bis 32 mm.

Frischbeton

Tabelle 7.16: Anforderungen an den Frischbeton

LP-Gehalt des Frischbetons ¹⁾	Bk100– Bk0,3	– Für Beton ohne BV oder FM: Einzelwert $\geq 3,5$ Vol.-%, Tagesmittelwert $\geq 4,0$ Vol.-%, – für Beton mit BV und/oder FM ^{2) 3)} Einzelwert $\geq 4,5$ Vol.-%, Tagesmittelwert $\geq 5,0$ Vol.-%.
w/z-Wert	Bk100–Bk1,8	$\leq 0,45$ in der Erstprüfung.

- 1) Bei Gesteinskörnungsgemischen von 16 mm Größtkorn ist der Mindestluftgehalt des Frischbetons um 0,5 Vol.-%, mit 8 mm Größtkorn um 1,5 Vol.-% zu erhöhen.
- 2) Werden bei der Eignungsprüfung die Luftporenkennwerte bestimmt und werden hierbei der Abstandsfaktor 0,20 mm nicht überschritten und der Gehalt an Mikroluftporen L300 von 1,8 Vol.-% nicht unterschritten, ist ein Mindestluftgehalt wie für Beton ohne BV oder FM ausreichend.
- 3) Bei Waschbeton mit $D_{\max} = 8$ mm oder Konsistenzklasse C1 mit FM oder BV: LP-Gehalt $\geq 4,0$ Vol.-% (EW) bzw. $\geq 4,5$ Vol.-% (Tagesmittel), wenn Anforderungen an LP-Kennwerte ($A_{300} \geq 1,8$ Vol.-%, Abstandsfaktor $L \leq 0,20$ mm) nachgewiesen wurden.

Festbeton

Tabelle 7.17: Anforderungen an den Festbeton

Belastungs- klasse		Expositions- klasse	Feuchtig- keits- klasse	Druck- festig- keits- klasse	Biegezug- festig- keits- klasse	Mindestens erf. Korn- gruppen nach TL Gestein- StB
1	2	3	4	5	6	7
Bk100– Bk1,8	Oberbeton	XF 4, XM 2	WS	C30/37	F 4,5	0/2, 2/8, > 8 0/4, 4/8, > 8 0/2, ≤ 8*
	Unterbeton	XF 4				
Bk1,0– Bk0,3	Oberbeton	XF 4, XM 1	WA		F 3,5	0/4, > 4
	Unterbeton	XF 4				

* für Größkorn 8 mm

Spalte 5: Für die Klassifizierung darf die charakteristische Festigkeit von Zylindern mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Höhe nach 28 Tagen ($f_{ck, cyl}$) oder die charakteristische Festigkeit von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge ($f_{ck, cube}$) verwendet werden.

Spalte 6: Für die Klassifizierung darf die charakteristische Festigkeit (f_{fk}) nach 28 Tagen gemessen an Prismen mit einem Querschnitt von 150 mm x 150 mm verwendet werden (Prüfung nach DIN EN 12390-5).

7.8 Hochfester und ultrahochfester Beton

Hochleistungsbetone basieren auf einer Optimierung der Packungsdichte des Zementsteins. Erreicht wird dies bekanntlich durch Hohlraumfüllung mit besonderen Additiven wie Silikastaub, die zudem durch die puzzolanische Reaktion das Zementsteingefüge zusätzlich verdichten. Diese Betone sind im Transportbetonwerk schwierig zu mischen und erfordern erhöhten Aufwand bei der Dosierung der Ausgangsstoffe und der Eigenüberwachung.

Hochleistungsbetone sind aber sehr viel einfacher auch mit moderner Zementtechnologie herstellbar, wie die bisherigen Erfahrungen mit Premiumzementen aus der Dyckerhoff MIKRODUR-Technologie zeigen. Einzel gesichtete Komponenten unterschiedlicher Korngrößen aus genormten Zementbestandteilen werden gezielt mit einem Basiszement zur Einstellung besonderer Eigenschaften gemischt.

Mit Dyckerhoff Premiumzementen **VARIODUR** können Hochleistungsbetone hergestellt werden, deren Einsatz keine aufwendigen Zulassungsverfahren erfordern.

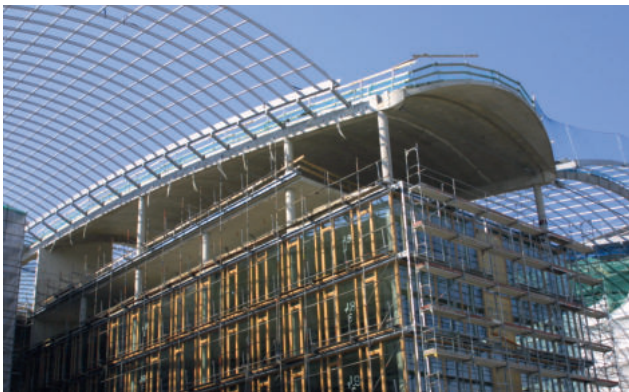


Abb. 7.9: Lufthansa Aviation Center am Flughafen Frankfurt.

7.8.1 VERIDUR für hochfesten Sichtbeton

VERIDUR ist ein hochfester Transportbeton, der insbesondere für Druckfestigkeitsklassen C70/85 bis C95/105 wirtschaftliche Rezepturen ohne Silikastaub ermöglicht. VERIDUR ist ideal für die Herstellung extrem robuster, heller und freundlicher Betonbauteile in Sichtbetonqualität. VERIDUR wird mit einem erprobten, umfangreichen Qualitätssicherungs- und Serviceprogramm ausgeliefert.

Anwendungsgebiete

- Wohnungs- und Industriebau, konstruktiver Hoch- und Tiefbau,
- Bauteile mit hohen Bewehrungsgraden und komplizierten Geometrien für höchste statische Ansprüche,
- schlanke, querschnittsreduzierte Bauteile,
- heller und farbiger Sichtbeton mit glatter oder strukturierter Oberfläche,
- massige Bauteile nach DAfStb- Richtlinie.

Eigenschaften

- hochfester Beton ohne Silikastaub,
- komponenten- und gefügeoptimiert,
- dicht und porenarm,
- moderater Hydratationswärmeverlauf ähnlich Normalbeton,
- optisch von normalfestem Sichtbeton kaum zu unterscheiden.

Verarbeitungsvorteile

- leicht verarbeitbar,
- einfache Verteilung im gesamten Betonierabschnitt,
- hohe Frühfestigkeit schon nach 1 Tag,
- zielsichere robuste hochfeste Rezepturen.

7.8.2 XPOSAL 105 für dünn-schichtige Tragplatten und Verstärkungen

XPOSAL 105 ist ein robuster, hochfester Transportbeton C90/105 und besonders geeignet, um z.B. Stahlbahnplatten von Brücken zu verstärken. Grundlage ist auch hier der Dyckerhoff Premiumzement VARIO-DUR, mit MIKRODUR-Technologie. XPOSAL 105 unterliegt einer kontinuierlichen Qualitätsüberwachung – von seiner Herstellung bis zum Einbau.

Anwendungsgebiete

- Verstärkung von Brücken-Tragplatten,
- Sanierung von Brücken,
- Neubau von dünnen Tragplatten.

Eigenschaften

- Druckfestigkeitsklasse C90/105,
- hoher Frost-/Tausalz-widerstand XF4,
- hohe Schlag- und Verschleißfestigkeit,
- geringe Schwindverformungen,
- hohe Belastbarkeit, auch der Fugenkanten,
- kombinierbar mit Betonstahlbewehrung,



Abb. 7.10: Einbau von XPOSAL 105 mit Fertiger.

Verarbeitungsvorteile

- lange Offenzeit (≥ 2 Stunden),
- gutes Verdichtungsverhalten,
- dichter Oberflächenschluss.

7.8.3 Ultra Hochfeste Betone UHFB (ohne Silikastaub)

Die DAfStb-Richtlinie „UHFB“ wird neue Festigkeitsklassen definieren, die auch Eingang in die Betonnormen finden werden: C 130/145, C 150/165 und C 175/190.

Zum Nachweis der Leistungsfähigkeit des VARIODUR 40 CEM III/A 52,5 R Normzements wurden einfache UHFB-Rezepturen ohne Silikastaub und ohne spezielle granulometrische Abstufung der Gesteinskörnung entwickelt.

Die Grobkornrezeptur enthält Grubensand 0/2 mm und Basalt Edelsplitt 2/5 mm sowie eine moderate Dosierung an Mikrostauffasern. Zur KonsistenzEinstellung kommt ein spezielles PCE-Fließmittel für niedrige Wasser/Zement-Werte zum Einsatz.

Die einfache Feinkornrezeptur enthält außer dem Normzement nur einen Quarzfeinsand. Beton der Festigkeitsklasse C 130/145 lässt sich mit Fasergehalten von 200–250 kg/m³, w/z-Werten von 0,20 bis 0,24 und Zementanteilen von 42–49 % entsprechend der vorgesehenen Anwendung variieren. Die faserreichen UHFB-Mischungen sind im Gefälle standfest und bei Verdichtung z.B. mit Fertiger gut verarbeitbar.

Wichtig bei dünnen Verstärkungen ist insbesondere das Zugtragverhalten. Hier kann es erforderlich sein, die dichte Packung des Zementsteins zur Optimierung der Fasereinbindung weiter zu erhöhen. Dafür bietet sich das UHPC Additive CEM III/C 52,5 N als normfähiger Feinstzement an, dessen Partikel mit $d_{95} < 10 \mu\text{m}$ das Gefüge zusätzlich verdichten und w/z-Wert sowie PCE Dosierung reduzieren.

Anwendungsgebiete

- Konstruktiver Ingenieurbau,
- Bauteilverstärkungen.

Eigenschaften

- sehr hohe Festigkeiten und E-Modul,
- sehr hohe Dauerhaftigkeit,
- hohe Duktilität (je nach Fasergehalt).



Abb. 7.11: Windkraftanlage mit Fertigteilen aus C 120/140 mit VARIODUR 40.

Verarbeitungsvorteile

- Normzement = einfache Zulassungen,
- konventionelle Betonmischtechnik,
- normale Gesteinskörnungen,
- ohne feinteilige Puzzolane wie Silikastaub.

7.9 Sichtbeton/Architekturbeton

7.9.1 Allgemeines

Sichtbeton hat sich aus konstruktiven, gestalterischen und wirtschaftlichen Gründen in vielen Bereichen des Ortbeton- und Fertigteilbaus durchgesetzt. Sichtbeton ermöglicht eine ansprechende, beständige und wartungsfreie Oberfläche.

Als „Sichtbeton“ bezeichnet man im Allgemeinen „Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen“ – kurz auch „Ansichtsflächen“ genannt. Denn die Ansichtsfläche ist der nach Fertigstellung sichtbare Teil des Betons, der die Merkmale der Gestaltung und der Herstellung er-

kennen lässt und der die architektonische Wirkung eines Bauteils oder Bauwerks maßgebend bestimmt. Dabei werden für **Ortbeton** im DBV-Merkblatt „Sichtbeton“ unterschiedliche **Sichtbetonklassen** (SB) definiert.

SB 1 – geringe Anforderungen

Beispiel: Betonflächen mit geringen gestalterischen Anforderungen, z.B. Kellerwände oder Bereiche mit vorwiegend gewerblicher Nutzung.

SB 2 – normale Anforderungen

Beispiel: Betonflächen mit normalen gestalterischen Anforderungen, z.B. Treppenhausräume, Stützwände.

SB 3 und **SB 4** – besondere Anforderungen

Beispiel: Betonflächen mit hohen gestalterischen Anforderungen, z.B. Fassaden im Hochbau (SB 3) oder Betonflächen mit besonders hoher gestalterischer Bedeutung, z.B. repräsentative Bauteile im Hochbau (SB 4).

Je nach gewünschter Wirkung bestehen, einzeln oder in Kombination, folgende Möglichkeiten der Gestaltung der Ansichtsflächen:

- Schalhaut (z.B. glatt oder texturiert),
- Betonzusammensetzung (z.B. farbiger Beton),
- Bearbeitung (z.B. Stocken, Strahlen).

Besonders wirkungsvolle Sichtbetonoberflächen in all diesen Klassen werden durch die Verwendung des weißen Portlandzementes Dyckerhoff WEISS erzielt. Das Bauwerk erhält einen hellen und freundlichen Charakter. Betonelemente lassen sich vielseitig, besonders auch in der Tiefe gestalten und profilieren. Gerade bei Weißbeton ist wegen der hellen Oberfläche das Spiel von Licht und Schatten besonders ansprechend. Insbesondere schalungsglatter Sichtbeton mit Dyckerhoff WEISS erhält eine dezente Marmorierung.

Gerade auch im Bereich der Betonfertigteile hat sich Beton zu einem leistungsfähigen Hochtechnologiebaustoff entwickelt, der ein breites Spektrum an Möglichkeiten eröffnet. Man spricht hier auch von „Architekturbeton“. Ein Begriff, den die Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V. in ihren Merkblatt „Betonfertigteile aus Architekturbeton“ wie folgt definiert: „Der Begriff Architekturbeton beinhaltet sowohl die Ausführungen, die eine möglichst perfekte, einheitliche Oberfläche und Farbe zum Ziel haben, als auch Projekte, bei denen die Natürlichkeit und Lebendigkeit des Baustoffs Betons zugelassen und bewusst betont werden. Die Betonfertigteile aus Architekturbeton sind als Gestaltungselement der Architektur konzipiert und müssen hinsichtlich der Oberfläche, Farbe und Form mit besonderer Sorgfalt hergestellt werden.“

7.9.2 Vorteile durch den Einsatz von Dyckerhoff WEISS bei Sichtbetonoberflächen

Für die Herstellung von weißem Sichtbeton sind keine besonderen zusätzlichen Maßnahmen erforderlich. Grundsätzlich gelten die gleichen Regeln wie für grauen Sichtbeton. Dyckerhoff WEISS sind Portlandzemente und als Normzemente gemäß EN 197-1 für alle Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonarbeiten zugelassen.

Der Einsatz von Dyckerhoff WEISS wirkt sich positiv auf die Gleichmäßigkeit der Farbtönung von Betonoberflächen aus. Die Gründe: Zum einen fallen die Wasser/Zement-Wert-Unterschiede durch die unterschiedlichen Wasserhaushalte auf der Betonoberfläche – insbesondere bei nicht saugenden Schalungen – nicht so deutlich auf wie bei dunklen Betonen. Zum anderen sind die optisch wenig ansprechenden Kalkausblühungen bei weißem Beton aufgrund der Kontrastminimierung fast nicht sichtbar. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass sich Architekten und Bauherren die Kosten für einen Anstrich und die damit verbundenen späteren Unterhaltskosten sparen.

7.9.3 Planung und Ausschreibung

Bereits bei der Planung legen Architekten und Bauherren die Sichtbetonflächen und ihre besondere Gestaltung fest. Schon hier sollte der Erfahrung Rechnung getragen werden, dass gerade sehr glatt geschalte und nicht unterteilte graue und hoch pigmentierte Sichtbetonflächen schwieriger herzustellen sind und Farbunterschiede stärker ins Auge fallen.

7.9.3.1 Betonzusammensetzung

Zement

Als Bindemittel werden Zemente nach EN 197-1 bzw. bauaufsichtlich zugelassene Zemente verwendet. Die üblichen Zemente besitzen graue Farben in den verschiedensten Nuancen. Wichtig ist, dass sich Zementart und Herstellwerk nicht ändern dürfen. Weitaus größeren gestalterischen Spielraum erlaubt dagegen der Einsatz von Dyckerhoff WEISS. Weißer Portlandzement (CEM I 42,5 R, CEM I 52,5 N, CEM I 52,5 R) entsteht durch eine spezielle Rohstoffauswahl (niedriger Eisenoxidgehalt), ein besonderes Ofenkonzept (Brennstoffe, Kühlung) und schlussendlich ein für dieses Verfahren geeignetes Mahlkonzept (hochlegierte Stähle).

Gesteinskörnung

Beton besteht zu ca. 70 Vol.-% aus Gesteinskörnungen. Die Komponente „Gestein“ ist daher für den farbigen Beton ein ganz entscheidender Faktor. Die meisten Gesteinskörnungen liefert die Natur in Form von Kalkstein, Quarz, Granit oder Porphyr.

Die Farbe der Gesteinskörnung kommt erst durch eine Bearbeitung der Betonoberflächen zur Geltung. Dabei zeigt jedoch auch die Gesteinskörnung in Abhängigkeit von der Bearbeitungsart unterschiedliche Farbtintensitäten. Ausschreibungsbeispiele:

- Gelbe Gesteinskörnungen: Singhofener Quarz, Größtkorn 8 mm,
- Weiße Gesteinskörnung: Lengefelder Marmor oder Nordisch Weiss, Größtkorn 12 mm.

Gleichmäßige Mehlkorn- und Feinstsandanteile $< 0,25$ mm sind für die farbliche Wirkung schalungsglatte Betone von besonderer Bedeutung. Gerade beim Einsatz von Dyckerhoff WEISS spielt die Farbe von Mehlkorn- und Feinstsand (bis 0,25 mm) eine nicht zu vernachlässigende Rolle. So ergibt gelber Sand einen warmen Weißton und grauer Sand einen kalten Weißton. Beim Einsatz von Dyckerhoff WEISS sollte möglichst die Sandfarbe vorab festgelegt werden. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist dabei auch die regionale Verfügbarkeit zu beachten (z.B. Mainsand ist gelblich, Rheinsand ist gräulich).

7



Abb. 7.12: James Simon Galerie, Berlin.

Bei bearbeiteten Oberflächen ist es ganz wichtig, die Gesteinskörnung für das gesamte Objekt zu bevorraten und ihn aus einer Grube mit möglichst geringen Farbschwankungen zu beziehen. Dabei muss auch sichergestellt sein, dass in der Gesteinskörnung keine verfärbten Bestandteile, wie z.B. Pyrit, enthalten sind.

Pigmente

Durch die Zugabe von Pigmenten nach DIN EN 12878 in die Betonmischung kann der gewünschte Farbton des Zementsteins zusätzlich ausgesteuert werden. Pigmente sind je nach Farbton ca. 10- bis 20-mal feiner als Zementpartikel und erreichen dadurch eine erheblich größere spezifische Oberfläche. Aus diesem Grund sind oft nur geringe Pigmentzugaben erforderlich, um eine ansprechende farbliche Wirkung zu erzeugen. Pigmente sind überwiegend synthetische, anorganische Eisenoxidpigmente sowie Kobaltblau, Chromoxidgrün und Titandioxid. Wichtig ist, den Farbton und die Menge festzulegen, z.B. Eisenoxidgelb (2 Gew.-% auf den Zement bezogen), Chromoxidgrün (3 Gew.-% auf den Zement bezogen). Titandioxid ist photokatalytisch wirksam und somit in der Lage, organische Verschmutzungen und Stickoxide abzubauen.

Hinweis:

Die Kosten für Pigmente sind von den verwendeten Rohstoffen abhängig. Pigmente treten beim Einsatz von Dyckerhoff WEISS brillanter in Erscheinung und ermöglichen eine sparsamere Pigmentdosierung. Beim Einsatz von Pigmenten sollte man sich bei der Pigmentmenge am Sättigungswert von ca. 5–8% auf den Zement bezogen orientieren, um eine möglichst gleiche Farbkonstanz zu erhalten. Zur Vermeidung von Kalkausblühungen sollte man bei pigmentierten Betonen die Oberfläche hydrophobieren.

Flugasche

Flugasche, die als Nebenprodukt in Kohlekraftwerken entsteht, sollte im Falle eines Einsatzes als Betonzusatzstoff möglichst kugelförmig, gleichmäßig und von gleicher Farbe sein. Außerdem muss sie aus gleichen Kraftwerksblöcken stammen.

Gesteinsmehle

Gesteinsmehle wie Marmor- oder Quarzmehle, die nur eine dezente Einfärbung ermöglichen, werden relativ selten eingesetzt. Wichtig ist dabei, dass die Korngrößenverteilung möglichst konstant ist. Außerdem ist darauf zu achten, dass Gesteinsmehle, wegen der möglichen

Verklumpungsgefahr im Silo gelagert werden. Beim Einsatz von selbstverdichtenden Betonen (SVB) kommen diese verstärkt zum Einsatz.

Zusatzmittel

Betonzusatzmittel beeinflussen die Betoneigenschaften durch ihre chemische oder physikalische Wirkung. Beim Einsatz von Dyckerhoff WEISS sollten möglichst helle Zusatzmittel eingesetzt werden. Die Farbe des Zusatzmittels darf während der Ausführung nicht verändert werden. Beispiele für Zusatzmittel sind Fließmittel, Entschäumer oder Schwindreduzierer.

7.9.3.2 Schalung

Beton zeigt nach dem Entschalen auf seinen Ansichtsflächen eine aus Zementstein und dem Feinstsandanteil der Gesteinskörnung gebildete Mörtelschicht, deren Textur im Wesentlichen mit dem Abbild der verwendeten Schalung übereinstimmt. Deren zu erwartender Einfluss sollte vom Planer in Schalungsmusterplänen dargestellt werden.

Schalungsmusterplan

Der Schalungsmusterplan ist Teil der Leistungsbeschreibung oder Teil der bautechnischen Unterlagen. In diesem Plan sollen ergänzend zur textlichen Beschreibung und zum Schalplan die geforderten Merkmale der Schalung bzw. der Sichtbetonfläche vom Planer festgelegt werden.

7



Abb. 7.13: Würtembergische Landesbibliothek, Stuttgart.

Aus gestalterischen, handwerklichen und wirtschaftlichen Gründen sollten bei der Planung möglichst marktgängige Schalungsraster berücksichtigt werden. Neben konventionell hergestellten Schalungen werden heute hauptsächlich Systemschalungen (Rahmen- oder Trägerschalungen) eingesetzt.

Rahmenschalungen bestehen aus Metallrahmen mit Aussteifungen in vorgegebener Elementgröße, eingelegter Standardschalhaut (i.d.R. Mehrschichtplatten) und vorgegebenen Ankerstellen. Für Eckausbildungen werden Eckelemente verwendet.

Trägerschalungen bestehen aus Holz- oder Metallträgern und Stahlgurtungen. Es können objektbezogene Schalungselemente in unterschiedlichen Abmessungen gefertigt werden. Die Art der Schalhaut ist hierbei frei wählbar. Für SB 3 und SB 4 werden häufig Trägerschalungen eingesetzt.

Schalungshaut

Bei der Auswahl der geeigneten Schalungshaut sind insbesondere die Unterschiede hinsichtlich des Saugverhaltens zu beachten.

Eine saugende Schalungshaut (Brettschalung) ermöglicht den Entzug von Luft und/oder Überschusswasser aus der Betonrandzone und fördert so die Herstellung von Oberflächen mit wenig Poren sowie eines relativ gleichmäßigen Farbtons der Oberfläche.

Eine nicht saugende Schalungshaut dagegen ermöglicht die Herstellung nahezu glatter Oberflächen. Sie begünstigt aber auch die Entstehung von Poren, Marmorierungen, Wolkenbildungen und Farbtonunterschieden.

In diesem Zusammenhang sollte nachfolgenden Hinweisen zur Bauausführung besondere Beachtung geschenkt werden:

- neue, saugende Holzschalungen müssen durch das Auftragen einer Zementschlämme vor dem Ersteinsatz künstlich „gealtert“ werden,
- neue und alte Schalungen sollten wegen des unterschiedlichen Einflusses auf die Farbe der Ansichtsfläche nicht zusammen zum Einsatz kommen (unterschiedliches Saugverhalten),
- Trennmittel sind nur dünn aufzutragen. Vor Einsatz eines Trennmittels ist dessen Eignung zu beurteilen, z.B. Einfluss auf Farbe und die Porenbildung an der Oberfläche,
- die Schalungsanker sollen in einem regelmäßigen Raster oder nach einem im Schalungsmusterplan vorgegebenen Raster eingebaut werden,

- Schalungsstöße sind so auszubilden, dass die Anforderungen der Leistungsbeschreibung, z.B. an die Abdichtung, erfüllt werden,
- die Verschraubung der Großflächenschalung sollte festgelegt werden (von vorne/von hinten).

7.9.3.3 Oberflächenbearbeitung

Von einer Oberflächenbearbeitung spricht man, wenn die Betonoberfläche am grünstandfesten bzw. ausgehärteten Beton mechanisch, thermisch und/oder chemisch bearbeitet wird.

Die Gründe, warum Betonoberflächen überhaupt bearbeitet werden, sind vielfältig. So kommt die Farbe der Gesteinskörnung erst durch eine Bearbeitung der Betonoberfläche zur Geltung und die Farbgebung wird insgesamt gleichmäßiger. Zudem treten bei bearbeiteten Oberflächen die Ausblühungen in den Hintergrund.

Die verschiedenen Möglichkeiten, Betonoberflächen zu bearbeiten werden in der DIN V 18500 Betonwerkstein beschrieben. Sie reichen von Schleifen und Polieren über Feinwaschen, Strahlen und Säuern bis hin zum Spitzen, Stocken oder Scharrieren.

Eine der gängigsten Bearbeitungsarten im Fertigteilwerk ist das *Feinwaschen* mit Abtragstiefen von 1 bis 2 mm. Die Oberfläche erhält dabei eine dem Sandstein ähnliche Struktur. Bei grobem *Auswaschen* wird eine Ausfallkörnung verwendet, das Grobkorn wird knapp zur Hälfte freigelegt. Bei gewaschenen Betonoberflächen dominieren immer die Gesteinskörnungen und deren Eigenfarbe.

Weit weniger Zementhaut wird beim *Absäuern* entfernt, lediglich die Oberfläche wird dadurch künstlich angeraut. Stärker „angegriffen“, etwa im Vergleich zum Feinwaschen, wird die Betonoberfläche beim *Strahlen*. Bei dieser Methode werden auch die Oberflächen der Gesteinskörnungen mit aufgeraut und erhalten eine matte Optik. Die genannten Bearbeitungsarten entfernen also mehr oder weniger Zementstein, legen die Gesteinsoberflächen frei, lassen aber bis auf das Aufrauen die Gesteinskörnungen intakt.

Andere Bearbeitungsverfahren schaffen hingegen neue Oberflächen. Bei den steinmetzmäßigen Bearbeitungsarten wie *Spitzen*, *Stocken* und *Scharrieren* werden mit verschiedenen handwerklichen oder industriellen Werkzeugen die ursprünglichen Betonoberflächen entfernt und die Gesteinskörnung freigelegt. Die verbleibenden Spuren der Bearbeitung strukturieren die Oberfläche und verleihen ihr eine individuelle Note.

Die Bearbeitungsart hat Einfluss auf die Betonüberdeckung der Bewehrung und ist entsprechend zu berücksichtigen.

7.9.3.4 Oberflächenbehandlung

Häufig wird fälschlicherweise eine Oberflächenbearbeitung als Oberflächenbehandlung bezeichnet. Die Möglichkeiten einer Oberflächenbehandlung werden ebenfalls in der DIN V 18500 abgehandelt. Die Norm erwähnt Polierwachs, Fluat, Oxalat, Polymerversiegler, Imprägniermittel, Hydrophobierungsmittel oder Nanokomposite. Ziele einer solchen Behandlung können z.B. sein:

- Anti-Graffiti-Schutz,
- Hydrophobierung,
- Schmutz- oder Ölabweisung,
- Beschichtung.

Zu beachten ist, dass Oberflächenbehandlungen die Farbe des Betons verändern können. Man spricht dabei vom sog. „Nasseffekt“. Die Produkte sollten vergilbungsfrei sein. Dazu sind Vorversuche erforderlich. Will man den geforderten Nutzen (z.B. Schmutzabweisung ohne Farbveränderung) erreichen, kann es sinnvoll sein, dies auch so auszuschreiben.

7.9.3.5 Erprobungs- und Referenzflächen

Der Auftraggeber kann im Vorfeld der Ausführung vereinbaren, gesondert zu vergütende Erprobungs- und Referenzflächen herstellen zu lassen, um seine Erwartungen an die Beschaffenheit der im Leistungsverzeichnis beschriebenen Ansichtsflächen zu verdeutlichen. Erprobungs- und Referenzflächen sollten eine der Maßstäblichkeit entsprechende Mindestgröße besitzen und unter gleichen Lage- und Herstellungsbedingungen wie die entsprechenden Bauteile betoniert werden.

Der Auftraggeber hat auch die Möglichkeit, auf bestimmte, bereits an anderer Stelle errichtete Vergleichsbauwerke zu verweisen. Die Übertragbarkeit von Ergebnissen bei Vergleichsbauwerken auf neu zu errichtende Bauwerke ist jedoch nur bedingt möglich, da die Herstellungsbedingungen (z.B. Witterung) in der Regel nicht vergleichbar sind.

7.9.4 Ausführung

7.9.4.1 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 Mehlkorngesamt, 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 $\Delta w/z = \pm 0,02$ bei dunklen Sichtbetonen bereits zu deutlich erkennbaren Abweichungen im Farbton führen können,
- kein Einsatz von Restwasser und Restbeton,
- in Einzelfällen Einsatz einer Anschlussmischung mit verringertem Größtkorn,
- Einbaukonsistenz F3 und höher. In Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung, der Einbauart und den Bauteilabmessungen kann eine weiche Konsistenz erforderlich sein,
- der Einsatz von leicht oder selbstverdichtenden Betonen (F5, F6, SVB) und Firmen mit entsprechender Erfahrung bringt Vorteile (Referenzen),
- die Abweichung vom vereinbarten Ausbreitmaß a sollte bei der Übergabe nicht größer als $\Delta a = \pm 20$ mm sein,
- zusätzlich zu den geforderten Erstprüfungen sind für SB 4, gegebenenfalls auch 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,
- die freie Fallhöhe des Frischbetons ist auf maximal 0,50 m zu begrenzen,

- 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 Betonvorgängen. Aufgetretene Verschmutzungen sind im frischen Zustand mit Wasser zu entfernen.

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. Die Einhaltung einer maximalen Schwankung des Ausbreitmaßes a von $\Delta a = \pm 20$ mm durch Kontrolle im Werk und auf der Baustelle (bei SB 4 jeweils jedes Fahrzeug),
- Vorgehen bei Ausfall des Lieferwerkes (Ersatzlieferwerk etc.).

7.9.4.2 Schalung

Schalung, Schalungshaut und deren Montage sind so zu wählen, dass die Anforderungen des Leistungsverzeichnisses und ggf. des Schalungsmusterplans an die Ansichtsflächen erfüllt werden. Dies gilt auch für Schalungsstöße und Schalungshautfugen. Dabei sind die bauvertraglich zutreffenden Forderungen zu beachten.

Ausführungstechnisch müssen für die Schalung und die Schalungshaut zusätzlich folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- die Zeitspanne zwischen Aufstellen der Schalung und dem Beton-einbau sollte möglichst kurz gehalten werden,
- vor jedem Einsatz sind die Schalung und die Schalungshaut auf Tauglichkeit (Verformungen und Beschädigungen) zu prüfen,
- die Schalung ist fachgerecht zu lagern,
- bei Anwendung der Regelungen von DIN 18 202 sind Toleranzen aus Normen für Bauhilfsstoffe wie Schalungen zusätzlich zu berücksichtigen und geeignete Schalungssysteme zu verwenden,
- Schalungsanker sind möglichst gleichmäßig fest anzuziehen,

- bei geschnittenen Schalungsplatten müssen die nachgeschnittenen Kanten bei SB 3 und SB 4 versiegelt werden,
- Abdichtungen (Silikon oder komprimierbare, geschlossenzellige Fugeneinlagen) können die Dichtheit der Schalungshaut- bzw. Schalungshautstöße erhöhen (auch Arbeitsfugen),
- saugende Schalungshaut ist vorzunässen. Hierbei ist das Quell- und Schwindverhalten von Holzwerkstoffen mit zu berücksichtigen,
- neue und alte Schalungshautplatten und auch solche verschiedener Hersteller sollten wegen des unterschiedlichen Einflusses auf die Textur und den Farbton der Ansichtsflächen nicht nebeneinander eingesetzt werden,
- vor Einsatz eines Trennmittels ist dessen Eignung zu beurteilen. Die Eignung des Trennmittels kann an einer Prüfschalung beurteilt werden. Trennmittel sind nach den Angaben des Herstellers zu verwenden. Sie sind gleichmäßig und dünn aufzubringen,
- unmittelbar vor der Betonage ist die Sauberkeit der Schalung zu prüfen (Drähte, Rost, Sägemehl, Blätter, Blütenstaub, Eis ... etc.),
- Reinigungsöffnungen sollten eingeplant werden.

7.9.4.3 Bewehrung und Einbauteile

7

Bewehrung und Einbauteile sind gegen Verschiebung und Verformung in der Schalung zu sichern. Dazu gehört u.a. die Verwendung einer ausreichenden Anzahl geeigneter Abstandhalter und deren planmäßige Anordnung (siehe auch DBV-Merkblatt „Abstandhalter“ nach Eurocode 2).

Zu beachten ist:

- die Auflagerungspunkte und -flächen der Abstandhalter sind im Allgemeinen an der Betonoberfläche erkennbar. Ein Probeeinsatz zur Vorlage und Abstimmung mit dem Auftraggeber wird empfohlen,
- Abstandhalter können sich in eine weiche Schalungshaut eindrücken oder sich in Bauteiloberflächen (insbesondere Untersichten) störend abzeichnen,
- Abstandhalter aus Faserbeton sind zu bevorzugen. Die Farbe des Abstandhalters richtet sich nach der Betonfarbe,
- Abstandhalterart und -zahl hängen u.a. von der geometrischen Form der Bewehrung ab,

- bei längeren Standzeiten besteht bei horizontalen Bauteilen die Gefahr, dass Rostpartikel vom Bewehrungsstahl auf die Schalung fallen und nicht entfernt werden können. Sie führen zu sichtbaren Rostverfärbungen an den Untersichten,
- beim Einbau der Bewehrung ist im Hinblick auf die geforderte Sichtbetonklasse gegebenenfalls besondere Sorgfalt notwendig.

Beim Verlegen der Bewehrung sind Schütt- und Rüttelöffnungen möglichst gleichmäßig anzuordnen. Insbesondere bei Wänden und Stützen sind die Schüttöffnungen so zu dimensionieren, dass Schüttrohre eingeführt werden können und die Bewehrung beim Verdichten möglichst nicht durch Innenrüttler berührt wird. Die zu betonierenden Wanddicken sollten eventuell erhöht werden.

7.9.4.4 Nachbehandlung

Eine gleichartige und gleichmäßige Nachbehandlung muss sichergestellt sein. Flüssige Nachbehandlungsmittel dürfen nur eingesetzt werden, wenn durch Vorversuche nachgewiesen wurde, dass der Einsatz keine Beeinträchtigung der Sichtbetonflächen verursacht.

- Bei der Nachbehandlung durch Abhängen mit Folie dürfen sich keine Hilfsmittel wie Kanthölzer usw. auf den Flächen abzeichnen. Im Raum zwischen Betonfläche und Abdeckung darf keine Zugluft entstehen,
- berühren Folien über längere Zeiträume die Betonoberfläche, so kommt es zu dunklen Verfärbungen,
- ein Schutz vor Witterungseinflüssen (Niederschläge) kann bei jungen Ansichtsflächen der Sichtbetonklassen SB 3 und SB 4 erforderlich sein,
- die vertikalen Ansichtsflächen sind vor Verschmutzungen, z.B. durch die Anschlussbewehrung, zu schützen,
- Sichtbetonflächen sollten möglichst frühzeitig entschalt werden. Dabei sind die in der DIN 1045-2 angegebenen Grundsätze über die Ausschalfrieten zu beachten,
- zur Vermeidung von Kantenabbrüchen muss vorsichtig entschalt werden,
- frisch entschaltete Sichtbetonflächen sollten möglichst nicht mit Wasser in Berührung kommen,

- fertige Sichtbetonflächen sind vor Verschmutzung und Beschädigung zu schützen. Bereits zur Nachbehandlung empfohlene Folien können einen Schutz darstellen,
- auch Schilder mit der Aufschrift „Sichtbeton“, was oft schon in verschiedenen Sprachen erfolgt, können wirksam helfen,
- zwischengelagerte Fertigteile werden zweckmäßigerweise stehend gelagert, jedoch so, dass eine Wasserabführung nicht über die Sichtfläche erfolgt,
- als Abstandhalter oder Lagerholz zwischengelegte Holzteile rufen Flecken hervor, die auch nach längerer Zeit noch sichtbar bleiben. Es empfiehlt sich daher, bewährte Abstandhalter oder Stapelplatten aus Kunststoff, die die Sichtbetonfläche nur punktförmig berühren, zu verwenden.

7.9.5 Betonkosmetik

Kleine Fehlstellen, die nicht wesentlich stören, sollten nicht ausgebessert werden, da die Korrektur oft mehr stört als die Fehlstelle selbst. Ist die Ausbesserungsarbeit notwendig, sollte zunächst an einer wenig auffallenden Stelle die Wirkung der vorgesehenen Mörtelmischung erprobt werden.

Mittlerweile haben sich einige Spezialfirmen auf dem Markt zum Thema Betonkosmetik etabliert.

7

7.9.6 Beurteilung

Der Gesamteindruck einer Ansichtsfläche ist das grundlegende Abnahmekriterium für die vereinbarte Sichtbetonklasse. Zu beachten ist, dass jedes Bauteil als Unikat (Wetter, Liefersituation etc.) zu beurteilen ist. Geringe Unregelmäßigkeiten – wie beispielsweise der Textur und des Farbtons – sind in allen Sichtbetonklassen charakteristisch.

Referenzflächen sind, wenn sie vertraglich vereinbart wurden, in die Beurteilung mit einzubeziehen. Hierbei ist zu beachten, dass die Oberflächenbeschaffenheit von Ansichtsflächen nicht toleranzfrei reproduzierbar ist, da die Schwankungen der natürlichen Ausgangsstoffe, die zulässigen Abweichungen in der Betonzusammensetzung und die Auswirkungen von Schalungshaut, Trennmittel und Witterungsbedingungen keine vollkommen gleichmäßige Oberflächenergebnisse zulassen.

Bei der Beurteilung der Sichtbetonflächen ist der Gesamteindruck aus dem üblichen Betrachtungsabstand maßgebend. Einzelkriterien wer-

den nur geprüft, wenn der Gesamteindruck der Ansichtsflächen den vereinbarten Anforderungen nicht entspricht.

Der Gesamteindruck von Ansichtsflächen wird aus angemessenem Betrachtungsabstand und unter üblichen Lichtverhältnissen beurteilt.

Folgende Betrachtungsabstände haben sich in der Praxis bewährt:

Bauwerk: Die angemessene Entfernung entspricht dem Abstand, der erlaubt, das Bauwerk in seinen wesentlichen Teilen optisch zu erfassen. Dabei müssen die maßgebenden Gestaltungsmerkmale erkennbar sein.

Bauteile: Der angemessene Betrachtungsabstand ist derjenige, der bei üblicher Nutzung vom Betrachter eingenommen wird.

Die Beurteilung von Einzelkriterien soll bauteilbezogen erfolgen. In begründeten Fällen können die beteiligten Parteien auch eine andere Einteilung der Beurteilungsbereiche vereinbaren (z.B. geschossweise zwischen einzelnen Fugenabschnitten, elementbezogen bei Fertigteilen).



Abb. 7.14: NS-Dokumentationszentrum, München

7.10 Schnellzemente für Mörtel und Betone

Der Schnellzement Next base ist ein innovatives hydraulisches Bindemittel auf Basis von Calciumsulfoaluminatzement (CSA) mit CE-Kennzeichnung.

Next base findet im Bereich der Trockenmörtel Anwendung und kann auch in der Fertigteil- und Transportbetonindustrie eingesetzt werden.

Die Verwendung von CSA steigert die Frühfestigkeit, ermöglicht den Einsatz bei tiefen Temperaturen oder Sulfatangriff und führt zu einem geringen Schwindmaß. Im Gegensatz zu Tonerdeschmelzzement besitzt Next base eine höhere Lagerstabilität.

Darüber hinaus fördert der Einsatz von CSA die CO₂-Bilanz (niedrigere CO₂-Emission).

	PZ-Klinker	CSA-Klinker
CO ₂ (kg/t Klinker)	≈ 915	≈ 750

Anders als beim Portlandzement (PZ) besteht die reaktive Phase des CSA-Zementes aus Yeelimit (C₄A₃S̄).

7

Buzzi Unicem bezeichnet mit dem Namen Next base das aus einer Abmischung von CSA-Klinker und Anhydrit hergestellte Bindemittel, bei dem Yeelimit vollständig zu Ettringit reagiert.

Die so erzielten Eigenschaften erlauben es, dass Next base sowohl allein als schnell erhärtendes Bindemittel als auch in Kombination mit Normzementen nach DIN EN 197-1 verwendet werden kann.

Somit lassen sich eine Vielzahl von Produkten mit geringem Schwindmaß und/oder hohen Frühfestigkeiten generieren.

Mechanische Eigenschaften

Folgende Diagramme zeigen die Festigkeitsentwicklung eines auf Next base-basierenden Normmörtels.

Abb. 7.15: Entwicklung der durchschnittlichen Druckfestigkeit in den ersten 24 Stunden

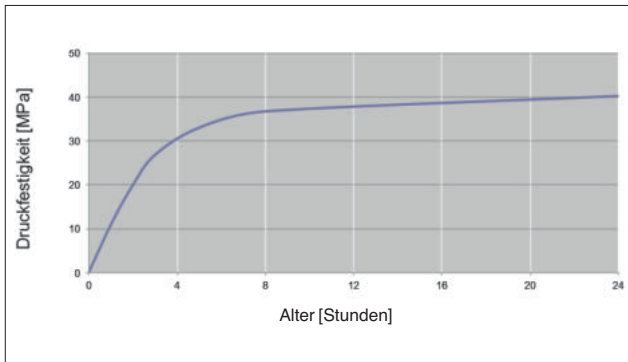
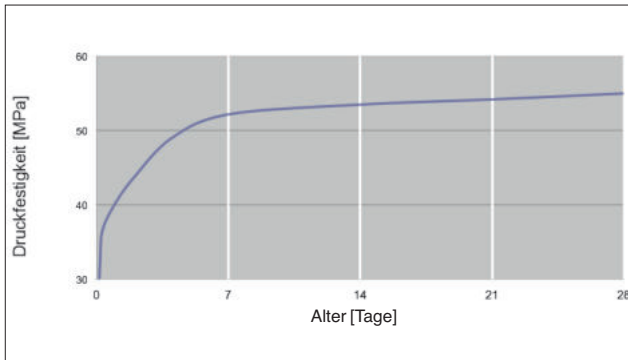


Abb. 7.16: Entwicklung der durchschnittlichen Druckfestigkeit in den ersten 28 Tagen



Die Grafiken machen deutlich, dass der Normmörtel nach wenigen Stunden Druckfestigkeiten erreicht, die mit herkömmlichen Portlandzementen erst nach einer Woche möglich sind. (Die Festigkeit steigt langsam und kontinuierlich mit fortschreitendem Alter).

Durch Zusätze (Lithiumcarbonat, Wein- oder Zitronensäure) oder geringen w/z-Wert in Kombination mit einem beliebigen Fließmittel lassen sich die Eigenschaften des Mörtels ändern.

Anwendung

Next base kann zu hundert Prozent oder in Abmischungen mit Zement nach DIN EN 197-1 von 10 bis 60% eingesetzt werden (Tabelle 7.18).

Bei einer Dosierung von 40-60% wird neben der erhöhten Frühfestigkeit im Besonderen das Schwindmaß reduziert.

Die Verarbeitbarkeit kann mit Fruchtsäuren (Zitronensäure, Weinsäure) verlängert werden.

Tabelle 7.18: Anwendungen von Buzzi Unicem Next base

	Dosierung von Next base
Beschleuniger für Putze bei niedrigen Temperaturen	10 – 30% (bez. auf PZ)
Technische Klebstoffe und Mörtel	20 – 60 % (bez. auf PZ)
Schnell härtende Werk trockenmörtel für einen Einsatz bei niedrigen Temperaturen: Verarbeitungszeit: 10 – 45 Minuten Druckfestigkeit: 10 MPa nach 3 Stunden	40 – 60 % (bez. auf PZ)
Schnelltrocknende Fließestriche: Verarbeitungszeit: 45 – 60 Minuten Druckfestigkeit: 16 MPa nach 1 Tag Schwinden: < 250 µm/m nach 90 Tagen	40 – 60% (bez. auf PZ)

8 Betonwaren und Betonwerkstein

Unter Betonwaren werden werkmäßig hergestellte, meist kleinformatige Betonerzeugnisse verstanden. Typisch für Betonwaren ist die Sofortentschalung nach der Produktion, was durch die Grünstandfestigkeit des Betons erreicht wird.

Betonwerkstein ist ein vorgefertigtes Erzeugnis aus bewehrtem oder unbewehrtem Beton, dessen Oberfläche werksteinmäßig bearbeitet bzw. besonders gestaltet ist (z.B. Terrassenplatten, Winkelstufen, Fassadenplatten, Pflanzgefäße). Sie werden sowohl in Handwerksbetrieben als Einzelfertigung (Sonderformen) als auch in Industriebetrieben in großen Stückzahlen (Platten) hergestellt.

Normen (Beispiele)

DIN EN 1338	Pflastersteine aus Beton,
DIN EN 1339	Platten aus Beton,
DIN EN 1340	Bordsteine aus Beton,
DIN EN 13198	Straßenmöbel und Gestaltungselemente,
DIN EN 13748 Teil 1	Terrazzoplatten (Innenbereich),
DIN EN 13748 Teil 2	Terrazzoplatten (Außenbereich),
DIN EN 14618	Künstlich hergestellter Stein,
DIN 18318	Verkehrswegebauarbeiten – Pflasterdecken und Plattenbeläge,
DIN 18333	Betonwerksteinarbeiten,
DIN 18500 Teil 1	Betonwerkstein – Begriffe, Anforderungen, Prüfung,
DIN 18516 Teil 5	Hinterlüftete Fassaden – Betonwerkstein.

Weitere Informationen:

www.dyckerhoff-weiss.de

www.info-b.de

Betonwerkstein-Kalender (BFTN/ZDB)

Bundesfachgruppe Betonfertigteile und Betonwerkstein (ZDB)



Dyckerhoff

Innovative Baustoffe, internationale Präsenz, 150 Jahre Tradition

RheinMain CongressCenter Wiesbaden

Architekturbeton im Innen- und Außenbereich mit Dyckerhoff WEISS, dem Ästhetiker unter den Zementen.

www.dyckerhoff.com

 **Dyckerhoff**

9 Estriche und Spezialbaustoffe im Transportbeton

9.1 Estrich

In DIN EN 13318 sind Begriffe und in DIN EN 13813 die erforderlichen Eigenschaften für Estrichmörtel und Estrichmassen geregelt.

Die nationale Normenreihe DIN 18560 regelt die Anwendung für Estriche im Bauwesen und besteht aus folgenden Normenteilen:

- Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Prüfung und Ausführung,
- Teil 2: Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten,
- Teil 3: Verbundestriche,
- Teil 4: Estriche auf Trennschicht,
- Teil 7: Hochbeanspruchte Estriche (Industriestriche).

Innerhalb der DIN EN 13892 (Teil 1 bis 8) sind die Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen geregelt.

Begriffe

Nach DIN EN 13318 ist Estrich eine Schicht aus Estrichmörtel, die auf der Baustelle direkt auf dem Untergrund, mit oder ohne Verbund, oder auf einer zwischenliegenden Trenn- oder Dämmschicht verlegt wird, um eine oder mehrere der nachstehenden Funktionen zu erfüllen:

- eine vorgegebenen Höhenlage zu erreichen,
- einen Bodenbelag aufzunehmen,
- unmittelbar genutzt zu werden.

Estricharten

In Abhängigkeit vom verwendeten Bindemittel werden folgende Estriche und Abkürzungen unterschieden:

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

Eigenschaften und Klassifizierung

Druckfestigkeitsklassen für Estrichmörtel

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

Biegezugfestigkeitsklassen für Estrichmörtel

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

Neben der entsprechenden Druck- und Biegezugfestigkeitsklasse können optionale Anforderungen an die Eigenschaften gestellt werden, z.B. Verschleißwiderstand nach Böhme.

Beispiele für die Bezeichnung von Estrichen:

Zementestrichmörtel, Druckfestigkeitsklassen C20 und Biegezugfestigkeitsklasse F4:

– EN 13813 CT-C20-F4.

Calciumsulfatestrichmörtel, Druckfestigkeitsklasse C20, Biegezugfestigkeitsklasse F4:

– EN 13813 CA-C20-F4.

9

Mindestanforderungen in Abhängigkeit von der Ausführungsart

Je nach Ausführungsart und Estrichmörtelart sind die in der nationalen Normenreihe DIN 18560 geregelten Mindestanforderungen für Nennstärke und Biegezugfestigkeit zwingend einzuhalten.

Annahmekontrolle auf der Baustelle

Bei Estrichmörtel ist der Lieferschein von der Baustelle daraufhin zu kontrollieren, ob die Bestellung mit den bautechnischen Unterlagen übereinstimmt.

Anwendung und Ausführung

Böden aus Fliesen, Teppich oder Parkett brauchen eine absolut glatte und dämmende Grundfläche. Diese Aufgabe erfüllen mineralische Estriche. Sie dienen zur Aufnahme des nachfolgenden Belags oder als Nuttschicht. Sie gleichen die Unebenheiten der Rohbaudecke aus und erfüllen mit entsprechender Unterdämmung auch wärme- und schallschutztechnische Funktionen.

Der Trend geht in den letzten Jahren sehr stark zu Fließestrichen, da diese auch aus arbeitsmedizinischer Sicht unbedingt vorzuziehen sind. Der Einsatz von ESTRIFLOOR erweist sich gleich in mehrfacher Weise als vorteilhaft. Für bestimmte Anwendungsfälle, in denen Fließestriche nicht eingesetzt werden können, z. B. geneigte Flächen mit Bodenablauf, bietet Dyckerhoff auch Estrichmörtel zum konventionellen Einbau mit steifer Konsistenz an.

ESTRIFLOOR CA ist ein calciumsulfatgebundener und optimierter Fließestrich (CAF) mit langer Offenzeit. Seine schnelle Begeh- und Belastbarkeit sorgt für einen schnellen Baufortschritt. Er ist nahezu selbstnivellierend, volumenbeständig, homogen, ideal für Fußbodenheizungen.

ESTRIFLOOR CA ist für den universellen Einsatz in allen Innenräumen und für alle üblichen Beläge geeignet. ESTRIFLOOR CA verbindet in idealer Weise konstruktive, bauphysikalische und wirtschaftliche Vorteile miteinander. Bei Verlegung in Feuchträumen sind die Estriche durch eine geeignete Abdichtung vor Feuchtigkeit zu schützen.

9.2 Spezialbaustoffe

9.2.1 Verfüllmassen

Bauunternehmen, Tiefbauämter und Kanalbauer kennen die Problematik. Die ideale Ausgleichs- und Verfüllmasse muss zwei wesentliche Anforderungen erfüllen: Einerseits muss sie absolut dicht sein und im Boden liegende Objekte passgenau verfüllen, andererseits darf sie nur ein geringes Eigengewicht haben, um Bauteile nicht unnötig zu belasten.

Für diese speziellen Bauaufgaben und Anforderungen stehen die nachfolgend genannten aus mineralischen Rohstoffen bestehenden Produkte, welche zudem baubiologisch vorteilhaft und schwer entflammbar sind, zur Verfügung.

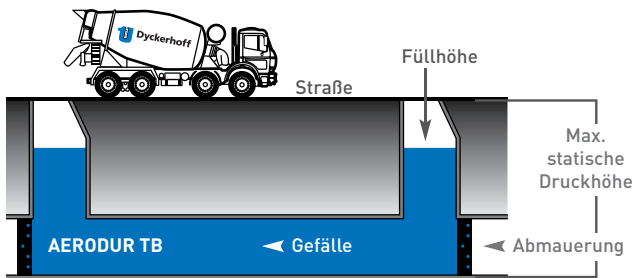
AERODUR HB ist eine leicht zu verarbeitende werkmäßig hergestellte Ausgleichsmasse, die je nach gewählter Rohdichte gut wärmedämmend ist. Entsprechend der Aufgabenstellung verfüllt AERODUR HB Objekte passgenau und besitzt nur ein geringes Eigengewicht, um u. a. Bauteile nicht unnötig zu belasten.

AERODUR HB – Anwendungsgebiete:

- Ausgleichsschichten von Böden, Decken und Flachdächern z. B. für Altbausanierungen, Hohlraumdecken, Altbaukeller und Gewölbe,
- Wärmedämmung unter Estrichen,
- Abdeckung von Medien- und Versorgungsleitungen,
- als homogene Wärmedämmschicht z. B. für Altbausanierung oder Hinterfüllung von Schwimmbecken.

AERODUR HB – Eigenschaften:

- Rohdichte kann je nach Anwendung gezielt eingestellt werden,
- weiche bis fließfähige Konsistenz,
- auf Anforderung pumpbar,
- leichtes Nivellieren (z. B. mit Raketstange) möglich,
- geringes Eigengewicht,
- durch planmäßig hohen Luftgehalt wärmedämmend,



- nach 1 bis 2 Tagen begehbar (abhängig von Umgebungsbedingungen),
- kein genormter Baustoff.

AERODUR TB ist eine professionelle, schnelle und kostengünstige werkmäßig hergestellte Verfüllmasse.

Stillgelegte Erdtanks, Schächte, Brunnen usw. bergen Hygiene- und Sicherheitsrisiken. Durch die potenzielle Einsturzgefahr sind möglicherweise sogar Menschenleben gefährdet. Herkömmliche Sand-Wasser-Gemische erreichen lediglich einen Verfüllgrad von 60 %. Die professionelle Lösung für sattes Verfüllen heißt AERODUR TB.

AERODUR TB – Anwendungsgebiete:

- Verfüllen von stillgelegten Abwasserkanälen, Gas- und Wasserleitungen, Durchlässen und Rohrleitungen,
- Verfüllen von Erdtanks, ungenutzten Klärgruben, Kellern, Stollen, Schächten, baufälligen Dammunterquerungen und Felsklüften,
- Ringraumverfüllungen von Schutz- und Druckrohrleitungen,
- Schließen der Hohlräume, die durch Ziehen von Doppel-T-Trägern und Spundwänden entstehen,
- Hinterfüllungen jeglicher Art.

AERODUR TB – Eigenschaften:

- Fließigenschaften, Festigkeit und Beständigkeit (z. B. Sulfat) nach Baustellenanforderung speziell einstellbar,
- hochfließfähiges Material, gelangt auch in schwer zugängliche Hohlräume ohne Bildung von Schüttkegeln,
- problemlos pumpbar,
- verhindern Einbrüche,
- kein genormter Baustoff.

AERODUR HB und AERODUR TB sind besonders wirtschaftliche Verfüll- und Ausgleichsmaterialien. Da sie direkt an die Baustelle geliefert werden, entstehen keine Kosten für Lagerhaltung, für die Entsorgung von Säcken, Materialresten und für zusätzliche Logistik.

9.2.2 Flüssigboden

Dyckerhoff CANADUR, der Flüssigboden aus dem Fahrmischer, basiert auf den Festlegungen der FGSV „Hinweise für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen im Erdbau (H ZFSV)“. Mit Dyckerhoff CANADUR sind setzungsfreie Kanalverfüllungen und hohlraumfreie Rohrbettungen erreichbar, die im verfestigten Zustand bodenähnliche mechanische/physikalische Eigenschaften aufweisen.

CANADUR – Anwendungsgebiete:

- Verfüllen von Baugruben und Leitungsgräben,
- hinterfüllen und überschütten von Bauwerken,
- Abdichtungen,
- Reparaturmaßnahmen im Tiefbau.

CANADUR – Eigenschaften:

- zeitweise hohe Fließfähigkeit,
- Konsistenz nach Bedarf selbstverdichtend oder plastisch,
- hohe Volumenstabilität und Umweltverträglichkeit,
- Wiederaushubfähigkeit nach Anforderung leicht, mittel oder schwer,
- schnell tragfähig, erosionsstabil und dauerhaft,
- Einstellbarkeit von anwendungsspezifischen Eigenschaften aus Verlegerichtlinien der Rohrhersteller und/oder technischen Regelwerke von Netzbetreibern/Ver- und Entsorgungsunternehmen.

Tabelle 9.1: Technische Hinweise (Auswahl) gemäß FGSV (H ZFSV)

Wiederaushubfähigkeit	leicht von Hand	mittel, mit Hilfe leichter Geräte	schwer, nur mit Geräteeinsatz
Lösewerkzeug	Schaufel, Spaten	Spitzhacke, Löffel des Mini-baggers	Baggerlöffel, Pressluft- oder Hydraulikmeißel
Druckfestigkeit nach 28 Tagen	bis 0,3 N/mm ²	0,3 bis 0,8 N/mm ²	über 0,8 N/mm ²
Begehbar	1)	nach ca. 8 Std.	nach ca. 6 Std.
Konsistenz in Anlehnung DIN EN 12350-5	selbstverdichtend, Ausbreitmass: 630 ± 50 mm		
Verformungsmodul EV2 gemäß DIN 18134	EV2 > 45 MN/m ²		
Wasserdurchlässigkeit gemäß DIN 18130	10 ⁻⁵ bis 10 ⁻⁸ m/s		
Weitere Daten	auf Anfrage		

1) in Abhängigkeit der Witterungs- und Baustellenbedingungen.



Abb. 9.1: Einbau Dyckerhoff CANADUR

9.2.3 Dränbeton für versickerungsfähige Verkehrsflächen

Dyckerhoff REWADUR der Dränbeton aus dem Fahrmischer, basiert auf den Grundlagen der FGSV für Dränbeton, beschrieben und empfohlen im „Merkblatt für Dränbetontragschichten (M DBT)“ und im „Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen (M VV)“. Mit REWADUR sind dauerhaft offenporige Trag- (DBT) und Deckschichten (DBD) herstellbar, die im System oder als ergänzender Baustein für versickerungsfähige Verkehrsflächen der Entsiegelung von kommunalen und landwirtschaftlichen Flächen dienen. Neben den o.g. Merkblättern gelten ergänzend die ZTV Beton StB, TL Beton-StB und TP Beton-StB.

REWADUR Dränbeton – Anwendungsgebiete:

- Parkflächen, Radwege- und Wohngebietsflächen,
- Stadt- und Gemeindestraßen,
- Gleisbereiche Straßenbahn und DB,
- ländlicher Wegebau.

REWADUR Dränbeton – Eigenschaften:

- hohe Versickerungsfähigkeit,
- steuerbare Verarbeitbarkeit für manuellen bzw. maschinellen Einbau,
- belastungsabhängige Rezepturen (ohne/mit Polymer),
- steuerbare Hohlraumgehalte, Druck- und Biegezugfestigkeit,
- hohe Frost-/Tausalzbeständigkeit.

9



Abb. 9.2: Straßenfertiger mit modifizierter Verdichtungsbohle

9.2.4 Bankettbeton

Mit REWADUR-Bankettbeton sind dauerhaft offenporige und damit versickerungsfähige Bankettflächen herstellbar, welche zudem zur Minderung der Unfallgefahr im Straßenverkehr beitragen.

REWADUR Bankettbeton – Anwendungsgebiete

- Autobahnen,
- Kreis-, Land- und Bundesstraßen,
- Stadt- und Gemeindestraßen,
- ländlicher Wegebau,
- Damm- und Gleisbereiche.

REWADUR Bankettbeton – Eigenschaften

- Minderung der Unfallgefahr bei Bankettbefahrung,
- hohe Trag- und Versickerungsfähigkeit,
- Reduzierung der Instandhaltungskosten,
- Schutz der Fahrbahn gegen Kantenabbrüche,
- Minderung des Wurzeleinwuchses,
- sicherer Einbau.

9.2.5 Geschliffene Betonbodensysteme

TERRAPLAN ist ein geschliffenes Betonbodensystem mit terrazzoähnlicher Optik, das u. a. auch Estriche komplett ersetzt. Die Betonrezeptur wird hinsichtlich der finalen Optik der Oberfläche speziell auf die gestalterischen Anforderungen des Auftraggebers abgestimmt. Die individuelle Komposition von Gesteinskörnung, Farb-Pigmente und Dyckerhoff Weisszement CEM I 42,5 R-dw bestimmt maßgeblich das Erscheinungsbild des Bodens. Die Herstellung des TERRAPLAN-Betons im Transportbetonwerk ermöglicht eine gleichbleibende Qualität nach DIN EN 206-1/ DIN 1045-2.

TERRAPLAN-Beton wird an handwerklich geschulte Verarbeiter und industriell arbeitende Industriefußbodenbauer geliefert, die eigenständig Bauherren und Architekten beraten, Muster erstellen, sowie für Planung und Einbau der Flächen Verantwortung tragen. Durch moderne Trocken- und Nass-Schleifverfahren wird in einem mehrstufigen Prozess die finale

Optik der Bodenoberfläche freigelegt. Im Finish der großformatigen Flächen erstrahlt das gewählte Zementstein/Korn-Farben-Spiel an der nachhaltig nutzbaren Oberfläche.

TERRAPLAN – Anwendungsgebiete:

- geschliffene Industriefußböden für Produktionsflächen, Lagerhallen und Logistikbereiche,
- repräsentative Betonbodenflächen im Innenbereich von Passagen, Messen, Showrooms o. ä.,
- hochfrequentierte Fußböden wie z. B. öffentliche Gebäude, Schulen, Altenheime und Krankenhäuser,
- individuell gestaltete und besonders ästhetische, große Flächen wie in Museen, Theatern oder Eingangs- und Empfangshallen.

TERRAPLAN – Eigenschaften:

- individuelle Gestaltung von Fußbodenoberflächen,
- hochwertige Oberflächen, matt bis glänzend, extrem hart, verschleißfest und griffig,
- monolithische Bauweise, auch bei Zweistufen-Einbau Frisch-In-Frisch des Ober- und Unterbetons,
- Flächen mit ebenen Übergängen und definierter Rutschsicherheit,
- hochbelastbar durch zielsichere Betondruckfestigkeiten,
- Transportbeton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2.

9



Abb. 9.3: TERRAPLAN Rhein-Main CongressCenter, Wiesbaden

9.2.6 Schnellbeton

9.2.6.1 VELODUR

Beton ist nicht gleich Beton – vor allem im Winter. Die Entwicklung der Frühfestigkeit von Beton ist stark temperaturabhängig, die Zeit- und Ressourcenplanung im Bauprojekt nicht. Mit Dyckerhoff VELODUR lassen sich in allen Temperaturbereichen durch spezielle Zusätze schnellere Frühfestigkeiten erzielen. Zudem lassen sich auch unter normalen Temperaturbedingungen deutlich schnellere Taktzeiten generieren.

Anwendungsgebiete

- Beton, Stahlbeton, Spannbeton und hochfester Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2,
- Winterbau,
- frühhochfester Beton,
- Architektur- und Sichtbeton,
- Ingenieur- und Tunnelbau,
- Hoch- und Gleitschalungsbau,
- Spezialtiefbau.

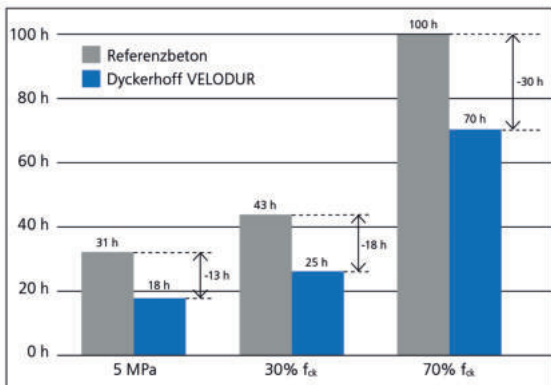


Abb. 9.4: Frühfestigkeitsentwicklung: z.B. C30/37 bei 10°C.

Eigenschaften

- höhere Frühfestigkeiten in allen Temperaturbereichen,
- Reduzierung des Blutverhaltens,
- Vermeidung von Wasserläufern,
- keine Dunkelverfärbungen (insbesondere bei kühler Witterung) und damit gleichmäßigere Oberflächen (weniger Marmorierung).

Verarbeitungsvorteile

- zu Normalbeton verbesserte Frischbetoneigenschaften,
- auch in den Konsistenzklassen F4 und F5 erhältlich,
- Reduzierung des Schalungsdrucks,
- frühere Entfernung der Schalungen,
- effiziente Prozesse (z.B. durch weniger Schalungselemente).

9.2.6.2 VELODUR Floor

Bei Industrieböden kann die Wartezeit bis zum Glätten (Liegezeit) signifikant reduziert werden. Die Bauteilqualität ist unabhängig von der Außentemperatur gleichbleibend hoch.

Anwendungsgebiete

- Industriefußböden,
- Bodenplatten,
- Fahrwege,
- auch als Stahlfaserbeton verfügbar.

9

Eigenschaften

- Verkürzung der Liegezeit,
- höhere Grünstandsfestigkeiten in allen Temperaturbereichen,
- Reduzierung des Blutverhaltens,
- keine Bildung von sogenannter Elefantenhaut infolge kürzerer Liegezeit.

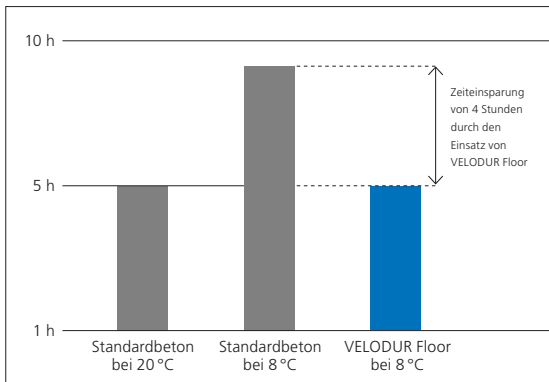


Abb. 9.5: Wartezeit bis zum Glätten.

Verarbeitungsvorteile

- zu Normalbeton verbesserte Frischbetoneigenschaften,
- erhebliche Reduktion der Liegezeit des Betons möglich,
- geringeres Austrocknungspotential (durch reduzierte Liegezeit),
- Reduktion der Rissgefahr,
- effiziente Prozesse.



Neubau der
Lahntalbrücke (A3)
bei Limburg
Errichtung im freien Vorbau

Dyckerhoff Baustoffe für Infrastrukturprojekte

Vorsprung durch Innovation
www.dyckerhoff.com

Dyckerhoff

10 Baustoffe für Tiefbau und Umwelttechnologie

10.1 Spezialtiefbau und Infrastrukturprojekte

Im Straßen-, Spezialtief- und Tunnelbau stehen der planende und der ausführende Ingenieur mit jeder neuen Bauaufgabe vor einer technischen Herausforderung. Erhöhung der Tragfähigkeit und Verringerung der Wasserdurchlässigkeit von Böden, Stützung von Böschungen, Sicherung von Ausbruchslaibungen und nicht zuletzt auch Einkapselung kontaminierter Bodenbereiche gehören zu den wichtigsten Aufgaben.

Von der Gründung der Freiheitsstatue in New York über die Unterfangung des Mainzer Doms bis hin zu einer Vielzahl an wasserdichten Baugruben in Deutschland und dem angrenzenden Ausland sowie den ICE-Strecken der Deutschen Bahn AG kann Dyckerhoff auf eine Jahrzehnte lange Erfahrung als Hersteller von Spezialbindemitteln zurückblicken.

In diesem wichtigen Sektor des Baugeschehens konzipiert Dyckerhoff neue Produkte oftmals in enger Zusammenarbeit gemeinsam mit Kunden und Ingenieurbüros unter Einbeziehung unserer leistungsfähigen Forschungs- und Entwicklungskapazitäten.

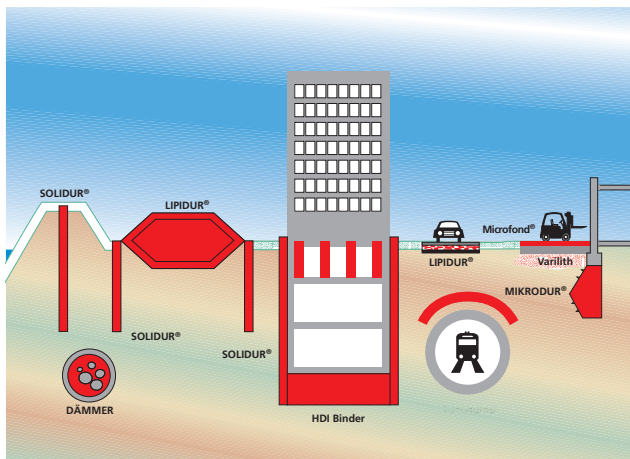


Abb. 10.1: Anwendungsgebiete

Tabelle 10.1: Produkte für den Spezialtief- und Straßenbau

Produkt	Name	Anwendung
Dichtwandbaustoffe SOLIDUR®		
Dichtwandbindemittel	270 271	bauseits mit Bentonit aufbereitete Dichtwandmischungen
Schmalwandmischung	273	Schmalwandfertigermischung
Schmalwandcompound	274 C	Schmalwandcompound zur Mischung mit Steinmehl
Dichtwandfertigermischung	274 RV	Einphasendichtwände und Mantel- mischungen mit normaler Festigkeit
Dichtwandfertigermischung	274 S	Einphasendichtwände und Mantel- mischungen mit hoher Frühfestigkeit
Dichtwandfertigermischung	275	Feststoffreiche Einphasendichtwände
Feinstzemente für Niederdruckinjektionen MIKRODUR®		
Ultrafeinstzement	P - F	Portlandzementbasis mit $d_{95} < 16 \mu\text{m}$
Ultrafeinstzement	P - U	Portlandzementbasis mit $d_{95} < 9,5 \mu\text{m}$
Ultrafeinstzement	R - F	Hochofenzementbasis mit $d_{95} < 16 \mu\text{m}$
Ultrafeinstzement	R - U	Hochofenzementbasis mit $d_{95} < 9,5 \mu\text{m}$
Ultrafeinstzement	R - X	Hochofenzementbasis mit $d_{95} < 6 \mu\text{m}$
Ultrafeinstzement	R-F/Eplus	Kompositzementbasis mit $d_{95} < 16 \mu\text{m}$
Ultrafeinstzement	R-U/Eplus	Kompositzementbasis mit $d_{95} < 9,5 \mu\text{m}$
Ultrafeinstzement	R-X/Eplus	Kompositzementbasis mit $d_{95} < 6 \mu\text{m}$
Feinzement für Niederdruckinjektionen VARIODUR®		
CEM III/A 52,5 N-SR/LA	Variodur 50	Hochofenzementbasis mit $d_{95} < 30 \mu\text{m}$
Zusatzmittel		
Dispergierhilfe	MSH MIKRODUR FM	Suspensionsherstellung aus Ultrafeinst-, Fein- und Standardzementen

Produkt	Name	Anwendung
Baustoffe zur Immobilisierung LIPIDUR®		
Immobilisierung	280–288	Baustoffe zur Einbindung von Schadstoffen
Baustoffe für das Düsenstrahlverfahren DSV		
HDI-Binder	R	hohe Frühfestigkeit
HDI-Binder	HF	hohe Endfestigkeit
Baustoffe für Hohlraumverfüllungen		
DÄMMER standard	S	Druckfestigkeit ~ 1 bis 7 MPa *)
DÄMMER massiv	M	Druckfestigkeit ~ 5 bis 20 MPa *)
DÄMMER rapid	R	Druckfestigkeit ~ 10 bis 30 MPa *)
DÄMMER mit sulfatbeständigen Bindemitteln	SR	Druckfestigkeit ~ 2 bis 8 MPa *)
Baustoffe für Bodenbehandlung VARILITH®		
Kalk-Zement Gemisch	TF	trockene Böden
Kalk-Zement Gemisch	FF	feuchte Böden und erhöhte Festigkeit
Kalk-Zement Gemisch	F	feuchte Böden
Halbstarre Beläge		
Hochleistungsfließmörtel	Microfond®	Herstellung halbstarrer Beläge
Normbindemittel für Infrastrukturmaßnahmen		
Straßendeckenzement	CEM I 42,5 N-sd	siehe Tabelle 1.10
Tragschichtbinder	HRB E4	siehe Tabelle 1.11
Spritzbetonzement	CEM I 52,5 R-sb	siehe Tabelle 1.10

*) nach 28d bei Wasser/DÄMMER-Werten 0,80 – 0,45

Für den Einsatz vorgenannter Baustoffe für Spezialtief- und Straßenbau sind Spezialkenntnisse notwendig. Nähere Informationen finden Sie unter <https://www.dyckerhoff.com/spezialtiefbau>
<https://www.dyckerhoff.com/infrastrukturbau>.



Abb. 10.2: Dichtwand mit Solidur Containerterminal Hamburg Altenwerder

10

10.2 Tiefbohrzemente

Die qualitativ hochwertigsten Tiefbohrzemente werden seit vielen Jahrzehnten weltweit nach einem Standard des American Petroleum Institutes (API), mit Sitz in Washington, USA hergestellt.

Die Besonderheiten von Tiefbohrzementen resultieren aus der Verwendung für das „Einzementieren“ von Stahlrohren in Tiefbohrungen zur Erschließung von Öl- und Gaslagerstätten. Dies ist erforderlich für die Verankerung und Abdichtung dieser Stahlrohre, in denen das Öl oder Gas nach Übertage strömt. Teufen können bis zu 5.000 m bei Ölbohrungen und bis zu 8.000 m bei Gasbohrungen erreichen. Im tiefsten Bereich der Bohrlöcher sind dadurch Temperaturen $> 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Drücke $> 1.500\text{ bar}$ möglich, unter denen die Tiefbohrzementsuspension kilometerweit sicher und gezielt bis an den Platz der vorgesehenen Erhärtung hinter die Verrohrung verpumpt werden muss. Dyckerhoff und Buzzi Unicem produzieren Tiefbohrzemente an fünf verschiedenen Standorten weltweit:

- Deutschland, Werk Lengerich, Dyckerhoff,
- Russland, Werk Sucholoschskzement, Dyckerhoff,
- Italien, Werk Siniscola, Sardinien, Buzzi Unicem,
- USA, Werk Maryneal, Texas, Buzzi Unicem,
- USA, Werk Pryor, Oklahoma, Buzzi Unicem.

Von Lengerich werden seit 60 Jahren vor allem die Nordsee, West- und Nordafrika, Südamerika und der Mittlere Osten beliefert. Hauptlieferländer sind z.B. Ägypten, Algerien und Nigeria.

Ultrafeinstzemente Mikrodur werden u. a. für die Instandsetzung bzw. Abdichtung schadhafter Bohrlöcher eingesetzt.

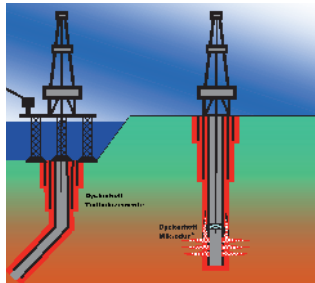


Abb. 10.3:
Anwendung
Tiefbohrzemente

Tabelle 10.2: Produkte für Tiefbohrzementationen (Tiefbohrzemente)

Produkt	Name	Eigenschaft
Tiefbohrzemente nach ISO 10426-1 und API Specification 10 A Anwendung: Für Ringraumzementationen (Casing, Liner)		
Tiefbohrzement	Class B Grade HSR	hochsulfatbeständig
Tiefbohrzement	Class C Grade O	Hohe Frühfestigkeit und Wasserbindung (verringerte Suspensionsdichte und höhere Ergiebigkeit)
Tiefbohrzement	Class G Grade HSR	Universeller Basiszement, sehr gut verzöger- und dispergierbar
Spezialmischungen Anwendung: Für tiefe Ringraumzementationen (Casing, Liner) mit hohen Temperaturen > 110° C und Drücken, z. B. tiefe Öl- und Gas- sowie Geothermiebohrungen		
Tiefbohrkompositzement	HT Basic Blend (API Class K Grade HSR)	Class G + 35 oder 40 % Quarzmehl, sehr gut verzöger- und dispergierbar, hohe Festigkeiten und geringe Durchlässigkeiten auch bei höheren Temperaturen > 110° C
Injektionszemente MIKRODUR® Anwendung: Zur Reparatur und Abdichtung undichter Bohrlochbereiche durch Druckverpressung (squeezeing) und als Zusatzkomponente für Tiefbohr-Spezialmischungen zur Erhöhung der Frühfestigkeit		
Ultrafeinstzement	P-F	Portlandzementbasis d ₉₅ < 16 µm, extrem hohe Frühfestigkeit
Ultrafeinstzement	R95	Hochofenzementbasis d ₉₅ < 9,5 µm, spezielle Entwicklung für die Bohrtechnik mit sehr guter Fließfähigkeit

Für den Einsatz vorgenannter Baustoffe sind Spezialkenntnisse notwendig. Nähere Informationen finden Sie unter

www.dyckerhoff-bohrtechnik.de

11 Normen und Richtlinien

Zement, Bindemittel

- DIN EN 196: Prüfverfahren für Zement
- Teil 1: Bestimmung der Festigkeit; 2005-05
 - Teil 2: Chemische Analyse von Zement; 2013-10
 - Teil 2.2: Chemische Analyse von Zement – mittels Röntgenfluoreszenzanalyse; 2013-10
 - Teil 3: Bestimmung der Erstarrenszeiten und der Raumbeständigkeit; 2017-03
 - Teil 5: Prüfung der Puzzolanität von Pozzolanzementen; 2011-06
 - Teil 6: Bestimmung der Mahlfeinheit; 2010-05
 - Teil 7: Verfahren für die Probenahme und Probenauswahl von Zement; 2008-02
 - Teil 8: Hydratationswärme Lösungsverfahren; 2010-07
 - Teil 9: Hydratationswärme – Teiladiabatisches Verfahren; 2010-07
 - Teil 10: Bestimmung des Gehalts an wasserlöslichem Chrom (VI) im Zement; 2006-10

Richtlinie 2003/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2003 zur 26. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates über Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Nonylphenol, Nonylphenolethoxylat und Zement)

- DIN EN 197: Zement
- Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; 2011-11
 - Änderung A2 zu Teil 1; 2006-10
 - Änderung A3 zu Teil 1; 2007-09
 - Teil 2: Konformitätsbewertung; 2014-05
 - Teil 5: Portlandkompositzement CEM II/C-M und Kompositzement CEM VI; 2021-07

- DIN EN 413: Putz- und Mauerbinder
Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien, 2011-07
Teil 2: Prüfverfahren, 2015-07
- DIN EN 459: Baukalk
Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Konformitätskriterien; 2010-12
Teil 2: Prüfverfahren; 2010-12
Teil 3: Konformitätsbewertung; 2011-08
- DIN 1164: Zement mit besonderen Eigenschaften
Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Normalzement mit besonderen Eigenschaften; 2013-03
Berichtigung 1 zu Teil 10; 2005-01
Teil 11: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit verkürztem Erstarren; 2003-11
Teil 12: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zementen mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen; 2005-06
- EN 13282-1: Hydraulischer Tragschichtenbinder

Zusatzmittel

- DIN EN 934: Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel
- Teil 1: Gemeinsame Anforderungen; 2008-04
 - Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; 2012-08
 - Teil 3: Zusatzmittel für Mauermörtel-Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; 2012-09
 - Teil 4: Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder – Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; 2009-09
 - Teil 5: Zusatzmittel für Spritzbeton – Begriffe, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; 2008-02
 - Teil 6: Probenahme, Konformitätskontrolle und Bewertung der Konformität; 2006-03

Zusatzstoffe

- DIN EN 450: Flugasche für Beton
- Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien; 2012-10
 - Teil 2: Konformitätsbewertung; 2005-05
- DIN EN 451: Prüfverfahren für Flugasche
- Teil 1: Bestimmung des freien Calciumoxidgehalts; 2017-08
 - Teil 2: Bestimmung der Feinheit durch Nasssiebung; 1995-01
- DIN EN 12878: Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfverfahren; 2014-07
- DIN EN 13263-1: Silikastaub für Beton
- Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien; 2009-07
 - Teil 2: Konformitätsbewertung; 2009-07

- DIN EN 15167: Hüttensandmehl zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einpreßmörtel
Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien; 2006-12
Teil 2: Konformitätsbewertung; 2006-12
- DIN 51043: Trass
Anforderungen, Prüfung; 1979-08

Gesteinskörnungen

- DIN EN 932: Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen
- DIN EN 15368: Hydraulische Bindemittel für nichttragende Anwendungen, Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien; 2010-11
- DIN EN 933: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen
- Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren; 2012-03
- Teil 2: Bestimmung der Korngrößenverteilung; Analysensiebe, Nennmaße der Sieböffnungen; 1996-01
- Teil 3: Bestimmung der Kornform; Plattigkeitskennzahl; 2012-04
- Teil 4: Bestimmung der Kornform – Kornformkennzahl; 2008-06
Berichtigung 1 zum Teil 4; 2008-09
- Teil 5: Bestimmung des Anteils an gebrochenen Körnern in groben Gesteinskörnungen; 2005-02
- Teil 6: Bestimmung der Oberflächeneigenschaften – Fließkoeffizient von Gesteinskörnungen; 2014-07
Berichtigung 1 zu Teil 6; 2004-09
- Teil 7: Bestimmung des Muschelschalengehaltes; Prozentsatz von Muschelschalen in groben Gesteinskörnungen; 1998-06
- Teil 8: Beurteilung von Feinanteilen – Sandäquivalent-Verfahren; Entwurf 2015-07

- Teil 9: Beurteilung von Feinanteilen – Methylenblau-Verfahren; 2013-07
- Teil 10: Beurteilung von Feinanteilen – Kornverteilung von Füller (Luftstrahlsiebung); 2009-01
- Teil 11: Einteilung der Bestandteile von recyceltem Grobkorn; 2011-05

DIN EN 1097: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen

- Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß (Micro-Deval); 2011-04
- Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung; Norm-Entwurf 2010-07
- Teil 3: Bestimmung von Schüttdichte und Hohlraumgehalt; 1998-06
- Teil 4: Bestimmung des Hohlraumgehaltes an trocken verdichtetem Füller; 2008-06
- Teil 5: Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung; 2008-06
Berichtigung 1 zu Teil 5; 2008-09
- Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme; 2013-09
- Teil 7: Bestimmung der Rohdichte von Füller – Pyknometer-Verfahren; 2008-06
Berichtigung 1 zu Teil 7; 2008-09
- Teil 8: Bestimmung des Polierwertes; 2009-10
- Teil 9: Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß durch Spikereifen – Nordische Prüfung; 2014-03
- Teil 10: Bestimmung der Wassersaughöhe; 2014-09

DIN EN 1367: Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen

- Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel; 2007-06
- Teil 2: Magnesium-Sulfatverfahren; 2010-02

- Teil 3: Kochversuch für Sonnenbrand-Basalt; 2001-06
Berichtigung 1 zu Teil 3; 2004-09
- Teil 4: Bestimmung der Trockenschwindung; 2008-06
- Teil 5: Bestimmung des Widerstandes gegen Hitzebeanspruchung; 2011-04
- Teil 6: Beständigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel in der Gegenwart von Salz (NaCl); 2008-12

DIN EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton; 2008-07

DIN EN 13055: Leichte Gesteinskörnungen

- Teil 1: Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel; 2002-08
Berichtigung 1 zu Teil 1; 2004-12

DIN EN 13139: Gesteinskörnungen für Mörtel; 2002-08
Berichtigung 1; 2004-12

DIN EN 13242 Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch-gebundene Gemische für den Ingenieur- und Straßenbau; 2008-03

DIN 1100: Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche – Anforderungen und Prüfverfahren; 2004-05

DIN 4226: Gesteinskörnung für Beton und Mörtel
Teil 101 und Teil 102: Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620; 2017-08

DIN 52098: Prüfverfahren für Gesteinskörnungen – Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Nasssiebung; 2005-06

DIN 52099: Prüfung von Gesteinskörnungen – Prüfung auf Reinheit; 2013-10

DIN 52102: Prüfverfahren für Gesteinskörnungen; Bestimmung der Trockenrohddichte mit dem Messzylinderverfahren und Berechnung des Dichtigkeitsgrades; 2013-10

DIN V 18004: Anwendungen von Bauprodukten in Bauwerken – Prüfverfahren für Gesteinskörnungen nach DIN V 20000-103 und DIN V 20000-104; 2004-04

Beton

- DIN EN 206: Beton
Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; 2014-07
- DIN EN 445: Einpressmörtel für Spannglieder – Prüfverfahren; 2008-01
- DIN EN 446: Einpressmörtel für Spannglieder – Einpressverfahren; 2008-01
- DIN EN 447: Einpressmörtel für Spannglieder – allgemeine Anforderungen; 2017-09
- 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; 2002-10
- DIN EN 1338: Pflastersteine aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren; 2010-08
- DIN EN 1339: Platten aus Beton – Anforderungen und Prüfverfahren; 2010-08
- DIN EN 1340: Bordsteine aus Beton; Anforderungen und Prüfverfahren; 2010-08
- DIN EN 1916: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton; 2003-04
Berichtigung 1; 2004-05
Berichtigung 2; 2008-08
- DIN EN 1917: Einstieg- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton; 2003-04
Berichtigung 1; 2004-05
Berichtigung 2; 2008-08
- DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton
Teil 1: Probenahme; 2009-08
Teil 2: Setzmaß; 2009-08
Teil 3: Vébé-Prüfung; 2009-08

- Teil 4: Verdichtungsmaß; 2009-08
- Teil 5: Ausbreitmaß; 2009-08
- Teil 7: Luftgehalte – Druckverfahren; 2009-08
- Teil 8: Selbstverdichtender Beton – Setzfließversuch; 2010-12
- Teil 9: Selbstverdichtender Beton – Auslauftrichter-versuch; 2010-12
- Teil 10: Selbstverdichtender Beton – L-Kasten-Prüfung; Norm-Entwurf 2010-12
- Teil 11: Selbstverdichtender Beton – Bestimmung der Sedimentationsstabilität im Siebversuch; 2010-12
- Teil 12: Selbstverdichtender Beton – Blockiering-Ver-such; 2010-12

DIN EN 12390: Prüfung von Festbeton

- Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen; 2012-12
- Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen; 2009-08
Berichtigung 1 zu Teil 2; 2012-02
- Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern; 2009-07
Berichtigung 1 zu Teil 3; 2011-11
- Teil 4: Bestimmung der Druckfestigkeit; Anforderungen an Prüfmaschinen; 2000-12
- Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern; 2009-07
- Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern; 2010-09
- Teil 7: Dichte von Festbeton; 2009-07
- Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck; 2009-07
- Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitte-rung; Vornorm 2017-05
- Teil 10: Bestimmung des relativen Karbonatisierungs-widerstandes von Beton; 2019-08

DIN EN 12504-1: Prüfung von Beton in Bauwerken

- Teil 1: Bohrkernproben-Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit; 2009-07
- Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung; Bestimmung der Rückprallzahl; 2012-12
- Teil 3: Bestimmung der Anziehungskraft; 2005-07
- Teil 4: Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit; 2004-12

DIN EN 13791: Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen; 2017-02

DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton

- Teil 1: Bemessung und Konstruktion; 2008-08
- Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; 2008-08
- Teil 3: Bauausführung; 2012-03
Berichtigung 1; 2013-07
- Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen; 2012-02

DIN 4030: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase

- Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte; 2008-06
- Teil 2: Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben; 2008-06

DIN 4235: Verdichten von Beton durch Rütteln

- Teil 1: Rüttelgeräte und Rüttelmechanik; 1978-12
- Teil 2: Verdichten mit Innenrüttlern; 1978-12
- Teil 3: Verdichten bei der Herstellung von Fertigteilen mit Außenrüttlern; 1978-12
- Teil 4: Verdichten von Ort beton mit Schalungsrüttlern; 1978-12
- Teil 5: Verdichten mit Oberflächenrüttlern; 1978-12

- DIN V 18500: Betonwerkstein, Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Überwachung; 2006-12
- DIN 18551: Spritzbeton – Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen; 2014-08
- DIN V 1201: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton für Abwasserleitungen und -kanäle – Typ 1 und Typ 2, Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität; 2004-08
- DIN V 4034: Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen für Abwasserleitungen und -kanäle – Typ 1 und Typ 2.
Teil 1: Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität; 2004-08
- DIN Fachbericht 100:
Beton – Zusammenstellung von DIN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität und DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; 2010-03

Sonstige Normen und Regelwerke

- DIN EN 998: Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau
- Teil 1: Putzmörtel; 2017-02
 - Teil 2: Mauermörtel; 2017-02
- DIN EN 1015: Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk
- Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung (durch Siebanalyse); 2007-05
 - Teil 2: Probenahme von Mörteln und Herstellung von Prüfmörteln; 2007-05
 - Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch); 2007-05
 - Teil 4: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Eindringgerät); 1998-12
 - Teil 6: Bestimmung der Rohdichte von Frischmörtel; 2007-05
 - Teil 7: Bestimmung des Luftgehaltes von Frischmörtel; 1998-12
 - Teil 9: Bestimmung der Verarbeitbarkeitszeit und der Korrigierbarkeitszeit von Frischmörtel; 2007-05
 - Teil 10: Bestimmung der Trockenrohddichte von Festmörtel; 2007-05
 - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel; 2007-05
 - Teil 12: Bestimmung der Haftfestigkeit von erhärteten Putzmörteln; 2000-06
 - Teil 14: Bestimmung der Dauerhaftigkeit von erhärtetem Mauermörtel (Festmörtel) (mit einem Zementanteil an der Gesamtbindemittelmenge von mehr als 50 %); 1999-07
 - Teil 17: Bestimmung des Gehalts an wasserlöslichem Chlorid von Frischmörtel; 2005-01
 - Teil 18: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von erhärtetem Mörtel (Festmörtel); 2003-03
 - Teil 19: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Festmörteln aus Putzmörteln; 2005-01
 - Teil 21: Bestimmung der Verträglichkeit von Einlagenputzmörteln mit Untergründen; 2003-03

- DIN 1053 Mauerwerk
- Teil 1: Berechnung und Ausführung; 1996-11
 - Teil 2: Mauerwerksfestigkeitsklassen aufgrund von Eignungsprüfungen; 1996-11
 - Teil 3: Bewehrtes Mauerwerk; Berechnung und Ausführung; 1990-02
 - Teil 4: Fertigbauteile; 2013-04
 - Teil 11: Vereinfachtes Nachweisverfahren für unbewehrtes Mauerwerk; Norm-Entwurf 2009-03
 - Teil 12: Konstruktion und Ausführung von unbewehrtem Mauerwerk; Norm-Entwurf 2009-03
 - Teil 13: Genaueres Nachweisverfahren für unbewehrtes Mauerwerk; Norm-Entwurf 2009-03
 - Teil 14: Bemessung und Ausführung von Mauerwerk aus Natursteinen; Norm-Entwurf 2009-03
 - Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts; 2007-09
- DIN 1960: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil A: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen; 2012-09
- DIN 1961: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen; 2012-09
- DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
Teil 1–22: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- DIN 4109: Schallschutz im Hochbau
- Teil 1: Anforderungen; 2018-01
 - Teil 11: Nachweis des Schallschutzes – Güte- und Eignungsprüfung; Änderung A1; 2010-05
 - Beiblatt 1: Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren; 1989-11
 - Änderung A1 zum Beiblatt 1; 2003-09
 - Änderung A2 zum Beiblatt 1; 2010-02

Beiblatt 3: Berechnung von $R'_{w,R}$ für den Nachweis der Eignung nach DIN 4109 aus Werten des im Labor ermittelten Schalldämm-Maßes R_w ; 1996-06

DIN EN 13318: Estrichmörtel und Estriche – Begriffe; 2000-12

DIN EN 13813: Estrichmörtel, Estrichmassen und Estriche – Estrichmörtel und Estrichmassen – Eigenschaften und Anforderungen; 2003-01

DIN 18560: Estriche im Bauwesen

Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Prüfung und Ausführung; 2009-09

Teil 2: Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten (schwimmende Estriche); 2009-09

Berichtigung 1; 2012-05

Teil 3: Verbundestriche; 2006-03

Teil 4: Estriche auf Trennschicht; 2012-06

Teil 7: Hochbeanspruchbare Estriche (Industriestriche); 2004-04

DIN 18195: Bauwerksabdichtungen

Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten; 2011-12

Teil 2: Stoffe; 2009-04

Teil 3: Anforderungen an den Untergrund und Verarbeitungen der Stoffe; 2011-12

Teil 4: Abdichtungen gegen Bodenfeuchte (Kapillarwasser, Haftwasser) und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden, Bemessung und Ausführung; 2011-12

Teil 5: Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen; Bemessung und Ausführung; 2011-12

Teil 6: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser; Bemessung und Ausführung; 2011-12

- Teil 7: Abdichtungen gegen von innen drückendes Wasser – Bemessung und Ausführung; Norm-Entwurf 2009-07
- Teil 8: Abdichtungen über Bewegungsfugen; 2011-12
- Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, An- und Ab-schlüsse; 2010-05
Änderung A1 zu Teil 9; 2009-03
- Teil 10: Schutzschichten und Schutzmaßnahmen; 2011-12
Beiblatt 1: Beispiele für die Anordnung der Ab-dichtung bei Abdichtungen;
2006-01
- Teil 100: Vorgesehene Änderungen zu den Normen DIN 18195 Teil 1 bis 6; 2003-06
- Teil 101: Vorgesehene Änderungen zu den Normen DIN 18195-2 bis DIN 18195-5; 2005-09
- DIN 18331: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Betonarbeiten; 2015-08
- DIN 18333: VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bau-leistungen (ATV); Betonwerksteinarbeiten; 2012-09
- DIN 18350: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Putz- und Stuckarbeiten; 2016-09
- DIN 18353: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Estricharbeiten; 2016-09
- DIN EN 1536: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bohrpfähle; Norm-Entwurf 2010-12
- DIN-Fachbericht 129:
Anwendungsdokument zu DIN EN 1536; 1999-06
– Ausführung von besonderen geotechnischen Arbei-ten (Spezialtiefbau) – Bohrpfähle; 2005-02

- DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte; 2013-02
- EN EV: Energieeinsparverordnung; 2014-05
- ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten
Teil 3: Massivbau; 2012-12
- TL Beton-Stb 07: Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemittel und Fahrbahndecken aus Beton; 2007
- ZTV Beton-StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton; 2007
- TP Beton-Stb 10: Technische Prüfvorschriften für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemittel und Fahrbahndecken aus Beton; 2010
- ZTV-W: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) – für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (LB 215); 2012
- RStO 12: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen; 2012
- DAfStb-Richtlinie: „Anforderungen an die Ausgangsstoffe zur Herstellung von Beton“; 2019-08
- DAfStb-Richtlinie: Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Teil 1 bis 3; 2011-03
- DAfStb-Richtlinie: Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie); 2012-09
- DAfStb-Richtlinie: Beton mit rezykliertem Gesteinskörnung; 2010-09
- DAfStb-Richtlinie: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie), Teil 1–4; 2001-10

DAfStb-Richtlinie: Wasserundurchlässige Bauwerke, WU-Richtlinie; 2017-12

DAfStb-Richtlinie: „Massige Bauteile aus Beton“; 2010-04 DAfStb-Richtlinie: „Stahlfaserbeton“ Teile 1–3; 2012-11

DAfStb-Richtlinie: „Bestimmung der Freisetzung anorganischer Stoffe durch Auslaugung aus zementgebundenen Baustoffen“; 2005-05

DAfStb-Richtlinie: „Vergussbeton und Vergussmörtel“, Vergussbeton-Richtlinie; 2011-11

DBV-Merkblatt Betondeckung und Bewehrung, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e. V.; 2002-07

DBV Merkblatt Stahlfaserbeton, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V.; 2001-10

Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.; 2004

Merkblatt für Schutzüberzüge auf Beton bei sehr starken Angriffen auf Beton nach DIN 4030; Merkblatt des VDZ, Düsseldorf; 1973-04

Richtlinien für die Zuteilung von Prüfzeichen für Betonzusatzmittel (Prüfrichtlinien); Institut für Bautechnik, Berlin

Richtlinien für die Überwachung von Betonzusatzmitteln (Überwachungsrichtlinien); Institut für Bautechnik, Berlin

Dyckerhoff – Wie Zementqualität entsteht

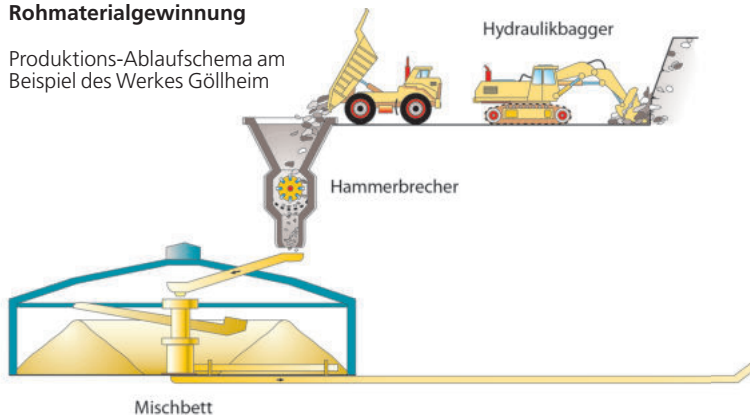
Kalkmergel – vor mehr als dreißig Millionen Jahren aus den Ablagerungen ehemaliger Meere entstanden – bildet den Ausgangspunkt für die Zementherstellung.

Kalkmergel wird im Steinbruch gewonnen, und Dyckerhoff hat ihn als unverzichtbaren Rohstoff für viele Jahrzehnte im voraus gesichert. Damit ist die optimale Versorgung der Dyckerhoff-Kunden jetzt und in Zukunft gewährleistet.

Zur Rohstoffsicherung gehört selbstverständlich auch die fachgemäße, den natürlichen Gegebenheiten angemessene Rekultivierung und Renaturierung der Bruchflächen.

Rohmaterialgewinnung

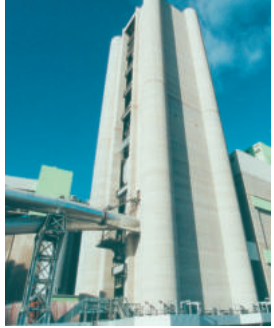
Produktions-Ablaufschema am Beispiel des Werkes Göllheim





Rohmühle

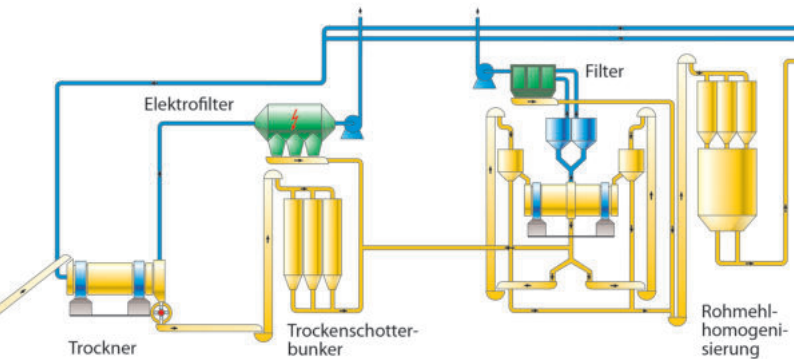
Mehlflein wird das Rohmaterial in Kugel- oder Walzenschüsselmöhlen zu einem gut gemischten, ofenfertigen Rohmehl zermahlen.



Zyklonvorwärmer

Neben den Silos bestimmen die Wärmetauschtürme das Bild eines modernen Zementwerkes. Dem Drehofen ist dieser Zyklonvorwärmer vorgeschaltet. Durch diesen werden die Drehofenabgase so geleitet, dass sie das Rohmehl bis zu 800 Grad Celsius erhitzen.

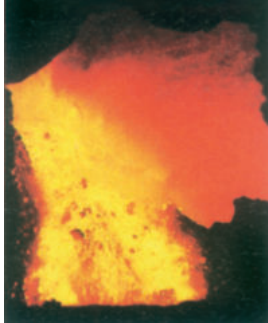
Rohaufbereitung





Drehofen

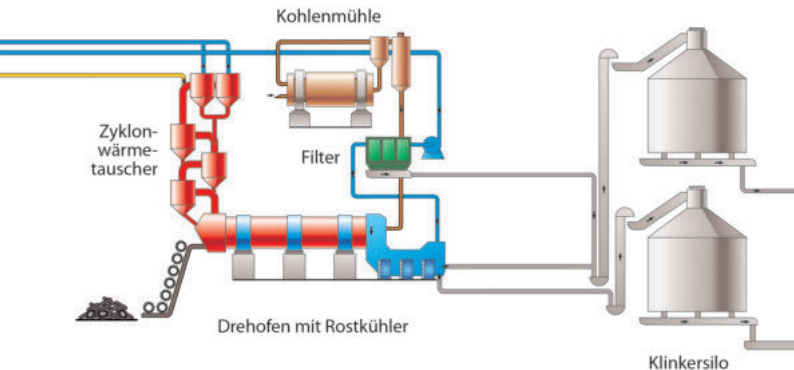
Beim Brennvorgang in der Sinterzone des Drehofens erhitzt die über 2.000 Grad Celsius heiße Kohlenstaubflamme das Rohmehl auf 1.450 Grad Celsius. Dabei sintert und granuliert das Rohmehl zu Zementklinker.



Klinker

Der Klinker kommt hellglühend aus dem Ofen. Nachdem er gekühlt ist, wird er in Klinkerhallen oder -silos umweltschonend zwischengelagert.

Klinkerbrennen





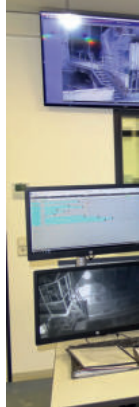
Zementmühle

Bei einer Antriebsleistung von 4.000 kW kommt diese Zementmühle auf eine Mahlleistung von 150 Tonnen pro Stunde. Nachgeschaltete Zementkühler machen es möglich, dem Verarbeiter zu jeder Jahreszeit einen Zement gleicher, niedriger Temperatur zu liefern. – Ein weiteres Plus gleichbleibender Dyckerhoff-Qualität.



Zementsilos

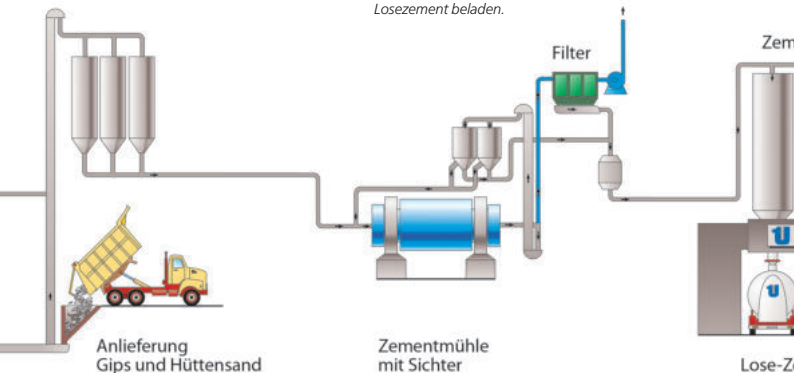
Der fertige Zement wird in bis zu 50 Meter hohen Silos gelagert. Jedes einzelne faßt annähernd 5.000 Tonnen des fertigen Dyckerhoff-Produktes. Jedes für die unterschiedlichen Dyckerhoff-Zementarten bereitstehende Zementsilo verfügt über Ladestraßen. In speziellen Verladeeinrichtungen mit automatischer Verwiegung erfolgt eine staubfreie und zügige Abfertigung der Silofahrzeuge. So wird beispielsweise ein Silowagen innerhalb von 5 Minuten mit 28 Tonnen Losezement beladen.



Zentralleitstand

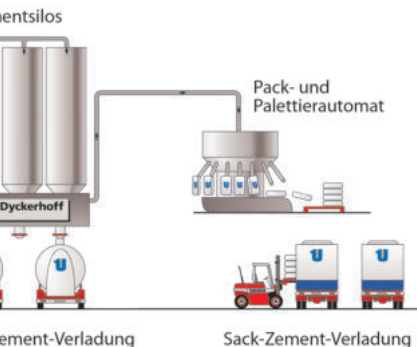
Der große Zentralleitstand steuert die Produktionsstufen elektrisch und auch die entferntesten Anlagen über den Bildschirm erreicht.

Zementmahlung





Das ist das „Gehirn“ des Werkes. Von hier aus werden sämtliche Anlagen elektronisch gesteuert und überwacht. Vom Zentraleitstand aus sind alle Anlagen in allen Stellen des Betriebes über Telefon, Funk, Wechselsprechanlagen erreichbar.



Sackware

In der Sackpackerei werden mit einem modernen Rotorpacker über 2.000 Sack Zement pro Stunde automatisch abgefüllt. Palettierautomaten übernehmen die schwere Arbeit des Stapelns auf Normalpaletten.



DYBAGs

Besonders beim Schiffversand werden oft große Mengen Zement in den von Dyckerhoff selbst entwickelten DYBAGs transportiert.

Die in dieser Informationsschrift enthaltenen Angaben sind allgemeine Hinweise, die uns unbekannte chemische und/oder physikalische Bedingungen von Stoffen, mit denen unsere Produkte vermischt, zusammen verarbeitet werden, oder sonst in Berührung kommen (z.B. infolge unterschiedlicher Baustellenbedingungen) nicht berücksichtigen können. Sie sind deshalb unter Umständen für den konkreten Anwendungsfall nicht geeignet. Daher sind vor dem Einsatz unserer Produkte auf den Einzelfall bezogene Prüfungen und Versuche erforderlich. Die Angaben in dieser Informationsschrift beinhalten keine Beschaffenheitsgarantie.

© Dyckerhoff GmbH, Wiesbaden
Alle Rechte vorbehalten. Angaben ohne Gewähr.
14. überarbeitete Auflage
Stand: 01-2022
Herstellung: Druckerei Zeidler, Mainz-Kastel