



Betonbauwerke müssen die auftretenden Beanspruchungen sicher aufnehmen und über viele Jahrzehnte dagegen widerstandsfähig bleiben. Festlegungen an die Dauerhaftigkeit bilden die Grundlage für diese Forderung. Dies verlangt eine sach- und materialgerechte Konstruktion, Bemessung, Baustoffauswahl und Bauausführung. DIN EN 206-1 [1] und DIN 1045 [2] legen hierzu die notwendigen Eigenschaften, Zusammensetzungen und Konformitätsverfahren für Beton, Stahlbeton und Spannbeton fest.

1 Allgemeines

Die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken hat in Deutschland über das Bauproduktengesetz und die Landesbauordnungen den Rang einer gesetzlichen Anforderung. Das bedeutet, Standsicherheit und Dauerhaftigkeit sind damit gleichrangige Kriterien [17]. Nach DIN 1045-1 gelten Bauwerke als dauerhaft, wenn sie während der vorgesehenen Nutzungsdauer ihre Funktion hinsichtlich Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ohne wesentlichen Verlust der Nutzungseigenschaften bei einem angemessenen Instandhaltungsaufwand erfüllen. Die Anforderungen an den Beton sollten nach DIN EN 206-1 unter der Annahme einer beabsichtigten Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren bei den vorausgesetzten Instandhaltungsbedingungen festgelegt werden.

Um die Anwendungen von DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 in der Praxis zu erleichtern, enthält der DIN-Fachbericht 100 [8] die inhaltliche Zusammenstellung beider Normen.

2 Expositionsklassen

Neben der Bemessung für äußere Lasten (Tragfähigkeit) ist zusätzlich die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken bzw. Betonbauteilen sicherzustellen. Hierzu müssen geeignete Annahmen für die zu erwartenden Umwelteinwirkungen getroffen werden. In DIN 1045 sind die Anforderungen an den Beton in Abhängigkeit von den möglichen Einwirkungen durch Expositionsklassen festgelegt. Betonzusammensetzung, Betondeckung der Bewehrung und Nachbehandlung werden den Expositionsklassen zugeordnet.

Für die Festlegungen der Dauerhaftigkeit stehen insgesamt sieben Expositionsklassen zur Verfügung, die jeweils in bis zu vier Stufen untergliedert sind. Unterschieden werden Einwirkungen auf die Bewehrung im Beton (Bewehrungskorrosion) sowie auf den Beton selbst (Betonangriff).

Mögliche Einwirkungen auf die Bewehrung im Beton werden durch folgende Expositionsklassen erfasst:

- Expositionsklasse XC (Carbonation)
Beanspruchung durch Karbonatisierung
- Expositionsklasse XD (Deicing-Salt)
Beanspruchung durch Chlorideinwirkung aus Streusalzen
- Expositionsklasse XS (Seawater)
Beanspruchung durch Chlorideinwirkung aus Meerwasser bzw. salzhaltiger Seeluft

Mögliche Einwirkungen auf den Beton werden berücksichtigt durch die Expositionsklassen:

- Expositionsklasse XF (Freezing)
Beanspruchung durch Frost mit / ohne Taumittleinwirkung
- Expositionsklasse XA (Chemical Attack)
Beanspruchung durch chemische Angriffe
- Expositionsklasse XM (Mechanical Abrasion)
Beanspruchung durch Verschleiß

Die Expositionsklasse X0 (kein Angriffsrisiko) steht für Betone ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall in Innenräumen oder im Boden, bei denen kein Korrosions- oder Angriffsrisiko vorliegt.

Tafel 1 enthält eine Übersicht der Expositionsklassen zur Bewehrungskorrosion, Tafel 2 zu Betonangriffen. Aufgabe des Verfassers von Festlegungen ist es, für die erwarteten Umgebungsbedingungen eines Bauteils die zutreffenden Expositionsklassen zu bestimmen. Im nächsten Schritt sind die Klassen auszuwählen, die den größten Widerstand für das jeweilige Betonbauteil ergeben. Für ein Bauteil können gleichzeitig mehrere Expositionsklassen maßgebend sein. Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositionsklassen an Bauteilen aus dem Bereich des Wohnungsbaus und des Hoch- bzw. Ingenieurbaus sind in Bild 1 und 2 dargestellt.

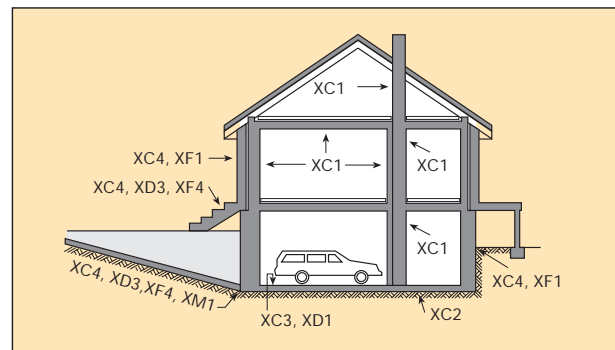


Bild 1: Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositionsklassen an einem Wohnhaus

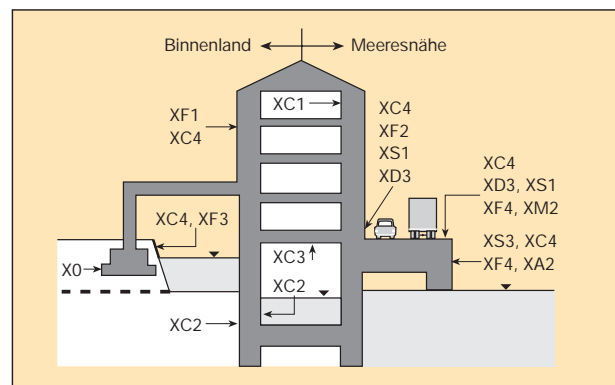


Bild 2: Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositionsklassen im Hoch- und Ingenieurbau [nach 17]

Tafel 1: Expositionsklassen (Umwelteinwirkungen) bezogen auf Bewehrungskorrosion [2]

Expositionsklassen bezogen auf Bewehrungskorrosion			
Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)	Mindestdruckfestigkeitsklasse $\min f_{ck}$
Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko Bauteile ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall in nicht betonangreifender Umgebung.			
X0	alle Umgebungsbedingungen, außer XF, XA, XM	Fundamente ohne Bewehrung ohne Frost	C8/10 C12/15 ¹⁾
		Innenbauteile ohne Bewehrung	
Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält und Luft sowie Feuchtigkeit ausgesetzt ist.			
XC1	trocken oder ständig nass	Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden)	C16/20
		Beton, der ständig in Wasser getaucht ist	
XC2	nass, selten trocken	Teile von Wasserbehältern	C16/20
		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	C20/25
XC4	wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung	C25/30
Bewehrungskorrosion durch Chloride außer Meerwasser Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält und chloridhaltigem Wasser, einschließlich Taumittel, ausgenommen Meerwasser, ausgesetzt ist.			
XD1	mäßige Feuchte	Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen	C30/37 C25/30 LP möglich, wenn gleichzeitig XF
		Einzelgaragen	
XD2	nass, selten trocken	Solebäder	C35/45 C30/37 LP möglich, wenn gleichzeitig XF
		Bauteile, die chloridhaltigen Industrieabwässern ausgesetzt sind	
XD3	wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken mit häufiger Spritzwasserbeanspruchung	C35/45 C30/37 LP möglich, wenn gleichzeitig XF
		Fahrbahndecken; Parkdecks	
Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält und Chloriden aus Meerwasser oder salzhaltiger Seeluft ausgesetzt ist.			
XS1	salzhaltige Luft, aber kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe	C30/37 C25/30 LP möglich, wenn gleichzeitig XF
XS2	unter Wasser	ständig unter Wasser liegende Bauteile in Hafenanlagen	C35/45 C30/37 LP möglich, wenn gleichzeitig XF
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen	C35/45 C30/37 LP möglich, wenn gleichzeitig XF

¹⁾ bei Beton für tragende Bauteile nach [2] Teil 1

Während bei einem Wohnhaus eine bewehrte Innenwand z.B. in die Expositionsklasse XC1 entsprechend Tafel 1 eingeordnet werden kann, sind für eine direkt bewitterte Außenwand zwei Expositionsklassen (XC4, XF1) zutreffend. Weitere Beispiele für die Zuordnung einzelner Betonbauteile aus verschiedenen Bereichen des Betonbaus sind in [15] aufgeführt.

Sinnvollerweise wird in der Festlegung aus jeder Expositionsklasse (XC, XD, XF etc.) nur die maßgebende Angriffsstufe aufgeführt. Wenn eine Wand zum Beispiel auf einer Seite einem Angriff gemäß XC3 ausgesetzt ist, an einer anderen jedoch gemäß XC4, so ist in der Festlegung nur die Angabe sinnvoll, welche den stärkeren Angriff erklärt, – hier also XC4.

Da in DIN 1045-2, Tab. F.3.1 bis F.3.3, „Anwendungsbereiche für Zemente ...“ auch Zemente aufgeführt sind, die für die höheren Angriffsstufen XC2, XD2 oder XS2 zugelassen sind, nicht aber für die niedrigeren Angriffsstufen XC1, XD1 oder XS1, benötigt der Betonhersteller die Angabe jeweils beider Expositionsklassen, um die Verwendung eines nicht zugelassenen Zementes sicher auszuschließen.

In den nachstehenden 3 Fällen ist es daher erforderlich, wenn zutreffend zwei Angriffsstufen aus einer Expositionsklasse in der Festlegung aufzuführen:

1. maßgebend : XC2, weiterhin zutreffend: XC1
2. maßgebend : XD2, weiterhin zutreffend: XD1
3. maßgebend : XS2, weiterhin zutreffend: XS1

Verbunden mit der Festlegung der maßgebenden Expositionsklassen für ein Bauteil ist die Mindestbetondruckfestigkeitsklasse, die der Verfasser von Festlegungen bei der Bemessung einzuhalten hat. Die Mindestbetondruckfestigkeitsklasse für die Stahlbetonaußenwände eines Wohnhauses (XC4, XF1) aus der Forderung der Dauerhaftigkeit beträgt beispielsweise $f_{ck} \geq C25/30$.

3 Anforderungen an den Mehlkorngelinhalt

Um dem Beton ein geschlossenes Gefüge zu geben und ihn gut verarbeiten zu können, ist ein ausreichender Mehlkorngelinhalt

(Kornanteil 0 bis 0,125 mm) wichtig. Zu niedrige Mehlkorngelalte können ein Wasserabsondern des Betons, auch „Bluten“ genannt, zur Folge haben. Andererseits kann ein zu hoher Mehlkorngelalt den Frischbeton für die Verarbeitung zu zäh und klebrig machen, den Wasseranspruch erhöhen und die Festbetoneigenschaften verschlechtern. Aus diesem Grund sind in DIN 1045-2 [2] die Gelalte für Betone mit Festigkeiten bis einschließlich C50/60 und LC50/55 auf die in Tafel 3 angegebenen Werte zu begrenzen. Grenzwerte für hochfeste Betone enthält DIN 1045-2.

4 Anforderungen aus den Expositionsklassen

Aufbauend auf der Klasseneinteilung werden für die verschiedenen Expositionsklassen Anforderungen an die Zusammensetzung

des Betons festgelegt. Tafel 4 und 5 enthalten die Grenzwerte der Betonzusammensetzung, die der Betonhersteller auf der Grundlage der festgelegten Einstufung in Expositionsklassen zu berücksichtigen hat. Im Wesentlichen sind nachfolgende Anforderungen zu erfüllen:

- maximaler Wasserzementwert (max w/z)
- Mindestzementgelalt (min z)
- Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons (min f_{ck})

Fallweise kommen besondere Anforderungen an die Ausgangsstoffe oder den Luftporengelalt des Frischbetons hinzu.

Da die Beanspruchungen durch chloridhaltiges Wasser einschließlich Taumittel und durch Chloride aus Meerwasser entsprechend den Expositionsklassen XD und XS stark miteinander

Tafel 2: Expositionsklassen (Umwelteinwirkungen) bezogen auf Betonangriff [2]

Expositionsklassen bezogen auf Betonangriff			
Frostangriff mit und ohne Taumittel			
Durchfeuchteter Beton, der einem erheblichen Angriff durch Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt ist			
Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)	Mindestdruckfestigkeitsklasse min f_{ck}
XF1	mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel	Außenbauteile	C25/30
XF2	mäßige Wassersättigung, mit Taumittel	Bauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, soweit nicht XF4	C35/45 C25/30 LP
		Betonbauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser	
XF3	hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	offene Wasserbehälter	C35/45 C25/30 LP
		Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser	
XF4	hohe Wassersättigung, mit Taumittel	mit Taumitteln behandelte Verkehrsflächen	C30/37 LP
		überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen	
		Räumerlaufbahnen von Kläranlagen	
		Meerwasserbauteile in der Wasserwechselzone	
Betonangriff durch aggressive chemische Umgebung			
Beton, der chemischen Angriffen durch natürliche Böden, Grund- oder Meerwasser gemäß Tafel 6 und Abwasser ausgesetzt ist			
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung nach Tafel 6	Behälter von Kläranlagen	C25/30
		Güllebehälter	
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung nach Tafel 6 und Meeresbauwerke	Betonbauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen	C35/45 C30/37 LP möglich, wenn gleichzeitig XF
		Bauteile in betonangreifenden Böden	
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung nach Tafel 6	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern	C35/45 C30/37 LP möglich, wenn gleichzeitig XF
		Gärfuttersilos und Futtertische der Landwirtschaft	
		Kühltürme mit Rauchgasableitung	
Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung			
Beton, der einer erheblichen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist			
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge	C30/37 C25/30 LP möglich, wenn gleichzeitig XF
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler	C35/45 C30/37 LP möglich, wenn gleichzeitig XF C30/37 möglich, wenn Oberflächenbehandlung
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch elastomer- oder stahlrollenbereifte Gabelstapler	C35/45 Hartstoffe nach DIN 1100 C30/37 LP möglich, wenn gleichzeitig XF Hartstoffe nach DIN 1100 [3]
		mit Kettenfahrzeugen häufig befahrene Oberflächen	
		Wasserbauwerke in geschiebelasteten Gewässern, z.B. Tosbecken	

Tafel 3: Höchstzulässiger Mehlkorngelalt für Beton bis zu den Betonfestigkeitsklassen C50/60 und LC50/55 [2]

Zementgehalt ¹⁾ [kg/m ³]	Höchstzulässiger Mehlkorngelalt [kg/m ³]		
	Expositionsklassen		
	XF, XM		X0, XC, XD, XS, XA
	Größtkorn der Gesteinskörnung		
	8 mm	16...63 mm	8...63 mm
≤ 300	450 ²⁾	400 ²⁾	550
≥ 350	500 ²⁾	450 ²⁾	550

¹⁾ Für Zwischenwerte ist der Mehlkorngelalt geradlinig zu interpolieren.

²⁾ Die Werte dürfen insgesamt um max. 50 kg/m³ erhöht werden, wenn
 - der Zementgehalt 350 kg/m³ übersteigt, um den über 350 kg/m³ hinausgehenden Zementgehalt
 - ein puzzolischer Zusatzstoff Typ II (z.B. Flugasche, Silikastaub) verwendet wird, um dessen Gehalt.

der verwandt sind, ergeben sich auch die gleichen Anforderungen an die Betonzusammensetzung.

Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit sind für die einzelnen Expositionsklassen unter Umständen Regeln für die Verwendbarkeit von Zementen zu beachten. Einzelheiten enthält das Zement-Merkblatt Zemente und ihre Anwendung [16].

Bei mehreren, für ein Bauteil zutreffenden Expositionsklassen sind die jeweils höchsten Anforderungen an die Betoneigenschaften maßgebend, so etwa der niedrigste geforderte Wasserzementwert zusammen mit dem höchsten Mindestzementgehalt und der höchsten Betondruckfestigkeitsklasse. Für ein bewehrtes, tausalzbeanspruchtes Ortbeton-Außenbauteil (z.B. Treppenhochlauf im Freien) bedeutet dies beispielsweise, dass entsprechend den hierbei zutreffenden Expositionsklassen XC4, XF4 und XD3 der Grenzwert für den äquivalenten Wasserzementwert $(w/z)_{eq} \leq 0,45$ beträgt, ein Mindestzementgehalt von $z \geq 320$ kg/m³ sowie eine Mindestdruckfestigkeitsklasse C30/37 als Luftporenbeton einzuhalten sind.

4.1 Betonangriff durch Frost

Dem Frischbeton wird zum Erreichen der erforderlichen Verarbeitbarkeit im Allgemeinen mehr Wasser zugegeben, als für das Erhärten des Zementes erforderlich ist. Dieses Überschusswasser hinterlässt später im erhärteten Beton ein System haarfeiner Poren (Kapillarporen).

Wenn Porenwasser bei einem Frostangriff ganz oder zu Teilen gefriert, erzeugt das entstehende Eis Druck auf die Porenwände, der bei unzureichend zusammengesetztem Beton zur Zerstörung des Betongefüges führen kann. Bei zusätzlichem Einwirken von Tausalzen kann diese Beanspruchung wesentlich verstärkt werden. Diese Frosteinwirkungen werden durch die Expositionsklassen XF erfasst.

Anforderungen für diese Beanspruchungen sind in Tafel 5 festgelegt. Beispiele für gefährdete Betonflächen und deren Einstufung enthält Tafel 2.

Wenn ein Gehalt an wirksamen Luftporen im Beton gefordert ist, wird dem Frischbeton ein Luftporenbildner (LP) zugegeben. Die Überprüfung dieser Maßnahme erfolgt für Normal- und Schwerbeton auf der Baustelle am Frischbeton nach DIN EN 12350-7 zu Beginn jedes Betonierabschnittes sowie zusätzlich in Zweifelsfällen. Für Fließbeton (Ausbreitmaßklasse ≥ F4) ist der Mindestluftgehalt nach Tafel 5, Fußnote 7, um 1 Vol.-% zu erhöhen. In diesem Fall ist das Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) zu beachten [13].

Für Betone der Expositionsklassen XF müssen Gesteinskörnungen die Regelanforderungen und zusätzlich den Widerstand gegen Frost (F_4, F_2) bzw. Frost und Tausalz (MS_{25}, MS_{18}) entsprechend DIN 4226-1 erfüllen. Für Bauwerke im Gültigkeitsbereich des Bundesministers für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) gelten weitere Anforderungen nach den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen (ZTV). Grenzwerte für den Mehlkorngelalt enthält Tafel 3. Regeln für die Verwendbarkeit von Zement enthält u. a. das Zement-Merkblatt Zemente und ihre Anwendung [16].

Die Maßnahmen für die Überwachung des Betons auf der Baustelle sind in DIN 1045-3 geregelt. Betone entsprechend der Expositionsklasse XF1 fallen in Überwachungskategorie 1; die Expositionsklassen XF2, XF3 und XF4 erfordern die Überwachungskategorie 2 (bzw. bei Festigkeitsklassen ≥ C55/67 Überwachungskategorie 3).

LP-Betone der Expositionsklasse XF4 sollten erst einer Tausalzeinwirkung ausgesetzt werden, wenn der Beton ausreichend erhärtet ist und wenigstens einmal austrocknen konnte. Bei Betonflächen, die im Herbst hergestellt werden, wird von der ZTV Beton-StB [11] eine Imprägnierung der Betonoberfläche gegen Tausalzeinwirkung empfohlen. Nähere Angaben enthält die ZTV BEB-StB [12]. Für andere Betonflächen, die vor der

Tafel 4: Grenzwerte für die Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton für die Expositionsklassen X0, XC, XD und XS sowie für Beton mit hohem Wassereindringwiderstand [2]

	kein Angriffsrisiko	Bewehrungskorrosion durch							Beton mit hohem Wassereindringwiderstand ⁵⁾	
		Karbonatisierung				Chloride ohne Meerwasser Chloride aus Meerwasser			Bauteildicke d ≤ 40 cm	Bauteildicke d > 40 cm
Expositionsklasse	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1 XS1	XD2 XS2	XD3 XS3		
min f_{ck} ¹⁾	C8/10 C12/15 ⁶⁾	C16/20		C20/25	C25/30	C30/37 ²⁾ (C25/30 LP)	C35/45 ²⁾ (C30/37 LP)		C25/30	
max w/z bzw. $(w/z)_{eq}$	–	0,75		0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,60	0,70
min z ³⁾ [kg/m ³]	–	240		260	280	300	320 ⁴⁾		280	
min z ³⁾ [kg/m ³] (bei Anrechnung von Zusatzstoffen)	–	240			270	270			270	

¹⁾ Gilt nicht für Leichtbeton

²⁾ Bei LP-Beton aufgrund gleichzeitiger Anforderung aus Expositionsklasse XF eine Festigkeitsklasse niedriger; s. Klammerwert (...)

³⁾ Bei 63 mm Größtkorn darf der Zementgehalt (min z) um 30 kg/m³ verringert werden. In diesem Fall darf Fußnote ⁴⁾ nicht angewendet werden.

⁴⁾ Für massive Bauteile (kleinste Bauteilabmessung 80 cm) gilt min z = 300 kg/m³

⁵⁾ Bei Nachweis des Wassereindringwiderstandes an Probekörpern sind Prüfverfahren und Konformitätskriterien zu vereinbaren.

⁶⁾ Bei Beton für tragende Bauteile nach [2] Teil 1

Tafel 5: Grenzwerte für die Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton für die Expositionsklassen XF, XA, XM [2]

	Betonangriff durch												
	Frost					Aggressive chemische Umgebung			Verschleiß ¹⁾				
Expositions-klasse	XF1	XF2		XF3		XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3	
min f_{ck} ²⁾	C25/30	C25/30 LP	C35/45	C25/30 LP	C35/45	C30/37 LP	C25/30	C35/45 ³⁾ (C30/37 LP)		C30/37 ³⁾ (C25/30 LP)		C35/45 ³⁾ (C30/37 LP)	
max w/z bzw. (w/z) _{eq}	0,60	0,55 ⁴⁾	0,50 ⁴⁾	0,55	0,50	0,50 ⁴⁾	0,60	0,50	0,45	0,55		0,45	
min z ⁵⁾ [kg/m ³]	280	300	320	300	320		280	320		300 ⁶⁾		320 ⁶⁾	
min z ⁵⁾ [kg/m ³] (bei Anrechnung von Zusatzstoffen)	270	4)		270		4)	270						
min p (Mindestluftgehalt)	—	7)	—	7)	—	7) 8)	—						
andere Anforderungen	Gesteinskörnungen mit Regelanforderungen und zusätzlich Widerstand gegen Frost bzw. Frost und Taumittel (siehe DIN 4226-1 [4])						—	9)		—	Oberflächenbehandlung des Betons ¹⁰⁾	—	Hartstoffe nach DIN 1100 [3]
	F ₄	MS ₂₅		F ₂		MS ₁₈							

- 1) Gesteinskörnungen; mäßig raue Oberfläche, gedrungene Gestalt; ≤ 4 mm überwiegend Quarz oder gleiche Härte; > 4 mm mit hohem Verschleißwiderstand; Gesteinskörnungsmisch möglichst grobkörnig
- 2) Gilt nicht für Leichtbeton
- 3) Bei LP-Beton aufgrund gleichzeitiger Anforderung aus Expositionsklasse XF eine Festigkeitsklasse niedriger; s. Klammerwert (...)
- 4) Zugabe von Zusatzstoffen Typ II zulässig, Anrechnung auf Zementgehalt oder w/z-Wert unzulässig
- 5) Bei 63 mm Größtkorn darf der Zementgehalt (min z) um 30 kg/m³ verringert werden.
- 6) Höchstzementgehalt z = 360 kg/m³, jedoch nicht für hochfesten Beton (Festigkeitsklasse ≥ C55/67)
- 7) Mittlerer Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau: Größtkorn 8 mm ≥ 5,5 Vol.-%; Größtkorn 16 mm ≥ 4,5 Vol.-%; Größtkorn 32 mm ≥ 4,0 Vol.-%; Größtkorn 63 mm ≥ 3,5 Vol.-%. Einzelwerte dürfen diese Werte um max. 0,5 Vol.-% unterschreiten. Für Fließbeton Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% erhöhen.
- 8) Herstellung ohne Luftporen zulässig für erdfeuchten Beton mit w/z ≤ 0,40 sowie bei Anwendung von Zement CEM III/B für
– Meerwasserbauteile mit w/z ≤ 0,45; C35/45 und z ≥ 340 kg/m³ und
– Räumlerlaufbahnen mit w/z ≤ 0,35; C40/50 und z ≥ 360 kg/m³; Beachtung von DIN 19569-1 [7]
- 9) Schutz des Betons erforderlich, ggf. besonderes Gutachten für Sonderlösung
- 10) z.B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons

ersten Austrocknung mit Tausalz in Berührung kommen, kann dieses sinngemäß angewendet werden.

4.2 Betonangriff durch aggressive chemische Umgebung

Beton kann durch bestimmte Stoffe angegriffen werden. Die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen chemische Angriffe setzt eine hohe Dichtigkeit und gegebenenfalls eine entsprechende Auswahl der Ausgangsstoffe voraus.

Beton angreifend wirken Wässer und Böden, wenn sie freie Säuren, Sulfate, bestimmte Magnesium- oder Ammoniumsalze oder bestimmte organische Verbindungen enthalten. Das Angriffsvermögen von weichen Wässern ist bei dichten Betonen gering.

Bei den angreifenden Stoffen handelt es sich meist um Beton angreifende Wässer (z.B. Moorwasser). Solche Wässer sind oft an Spuren von ausgeschiedenen Salzen, dunkler Färbung, fauligem Geruch, aufsteigenden Gasblasen o. Ä. zu erkennen.

Feste, trockene Stoffe und Gase greifen trockenen Beton im Allgemeinen nicht merkbar an. Bei Zutritt von Feuchtigkeit können jedoch betonaggressive Feststoffe, z. B. im Boden, gelöst werden und angreifende Flüssigkeiten bilden. Gase können in trockenen Beton tief eindringen und mit dem Porenwasser Beton angreifende Lösungen bilden.

Je nach der Wirkungsweise der Beton angreifenden Stoffe unterscheidet man treibenden und lösenden Angriff.

Treiben wird in erster Linie durch in Wasser gelöste Sulfate hervorgerufen, die mit bestimmten Bestandteilen des Zementsteines reagieren; dabei entsteht Ettringit. Hiermit verbunden ist eine Volumenvergrößerung, die ein Zertreiben des Betons bewirkt.

Lösende Angriffe, die Kalkverbindungen aus dem Zementstein herauslösen, können durch Säuren, austauschfähige Salze

sowie durch pflanzliche und tierische Fette und Öle verursacht werden. Die Oberfläche des Betons wird dabei meistens langsam abgetragen.

Untersuchungen zur Beurteilung des chemischen Angriffs von Wässern und/oder Böden sollten bereits frühzeitig bei der Planung einer Baumaßnahme erfolgen, um die evtl. notwendigen betontechnologischen und konstruktiven Maßnahmen rechtzeitig darauf abstimmen zu können. Tafel 6 enthält die Grenzwerte für die Beurteilung aggressiv chemisch angreifender Grundwässer und Böden bei natürlicher Zusammensetzung. Aufgrund der Einstufung ergeben sich die Expositionsklassen XA1, XA2 oder XA3.

Die Anforderungen an den Beton ergeben sich nach Tafel 5. Vorteilhaft sind sandarme Gesteinskörnungsmische mit einem möglichst geringen Wasseranspruch. Für eine gute Verarbeitung und ein geschlossenes Gefüge des Betons ist ein ausreichender Mehlkorngesamt unter Einhaltung der Höchstwerte nach Tafel 3 erforderlich.

Beton angreifende Bestandteile in Böden sind überwiegend Säuren und Sulfate. Mit einem Säureangriff ist vor allem bei dunkel gefärbten, humusreichen Böden zu rechnen. Leicht lösliche Sulfate kommen insbesondere in der Umgebung von Salzstöcken, aber auch in organischen Böden vor. Im Bereich von Aufschüttungen industrieller Abfallprodukte ist eine gesonderte Beurteilung durch einen Fachmann notwendig.

Beton der Expositionsklasse XA3 muss zusätzlich vor unmittelbarem Kontakt mit den angreifenden Stoffen geschützt werden, wenn nicht durch ein Gutachten eine andere Lösung nachgewiesen wird. Als Schutzmaßnahmen kommen Schutzschichten (Anstriche, Beschichtungen) oder dauerhafte Bekleidungen in Frage (Dichtungsbahnen aus Kunststofffolien

Tafel 6: Grenzwerte für die Expositionsklassen bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser¹⁾²⁾ [1, 2, 8]

Chemisches Merkmal	XA1	XA2	XA3
Grundwasser			
pH-Wert	6,5...5,5	< 5,5...4,5	< 4,5 und ≥ 4,0
kalklösende Kohlensäure (CO ₂) [mg/l]	15...40	> 40...100	> 100 bis zur Sättigung
Ammonium ³⁾ (NH ₄ ⁺) [mg/l]	15...30	> 30...60	> 60...100
Magnesium (Mg ²⁺) [mg/l]	300...1000	> 1000...3000	> 3000 bis zur Sättigung
Sulfat ⁴⁾ (SO ₄ ²⁻) [mg/l]	200...600	> 600...3000	> 3000 und ≤ 6000
Boden			
Sulfat ⁵⁾ (SO ₄ ²⁻) [mg/l] insgesamt	2000...3000 ⁶⁾	> 3000 ⁶⁾ ...12000	> 12000 und ≤ 24000
Säuregrad	> 200 Bauman-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

- ¹⁾ Werte gültig für Wassertemperatur zwischen 5 °C und 25 °C sowie bei sehr geringer Fließgeschwindigkeit (näherungsweise wie für hydrostatische Bedingungen)
- ²⁾ Der schärfste Wert für jedes einzelne Merkmal ist maßgebend. Liegen zwei oder mehrere angreifende Merkmale in derselben Klasse, davon mind. eines im oberen Viertel (bei pH im unteren Viertel), ist die Umgebung der nächsthöheren Klasse zuzuordnen. Ausnahme: Nachweis über eine spezielle Studie, dass dies nicht erforderlich ist.
- ³⁾ Gülle darf, unabhängig vom NH₄⁺-Gehalt, in Expositionsklasse XA1 eingeordnet werden.
- ⁴⁾ Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen Meerwasser) für Expositionsklasse XA2 und XA3 ist Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) erforderlich. Für SO₄²⁻ ≤ 1500 mg/l ist anstelle HS-Zement auch eine Mischung aus Zement und Flugasche zulässig (nach [8] Abschn. 5.2.5.2.2).
- ⁵⁾ Tonböden mit einer Durchlässigkeit ≤ 10⁻⁵ m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.
- ⁶⁾ ggf. Grenzwert vermindern entsprechend Regelung DIN EN 206-1 Tab. 2

oder aus getränkten bzw. beschichteten Pappen, Plattenverkleidungen).

Die Überwachung auf der Baustelle für Betone der Expositionsklassen XA erfolgt entsprechend DIN 1045-3 nach den Maßnahmen der Überwachungsklasse 2 (bzw. bei Festigkeitsklassen ≥ C55/67 Überwachungsklasse 3).

4.3 Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung

Eine Verschleißbeanspruchung kann durch schleifenden und rollenden Verkehr (z.B. auf Fahrbahnen, Hallenböden), durch rutschendes Schüttgut (z.B. in Silos), durch stoßartige Bewegung von schweren Gegenständen (z.B. Werkstätten, Verladerrampen) oder durch stark strömendes und Feststoffe führendes Wasser hervorgerufen werden. Diese Beanspruchungen können bei Beton ohne ausreichenden Verschleißwiderstand zu einem Oberflächenabtrag oder auch zu örtlichen Vertiefungen an der Betonoberfläche führen.

Für tragende und aussteifende Betonböden wird die Verschleißbeanspruchung in DIN 1045 durch die Expositionsklassen XM geregelt (siehe Tafel 5). Je nach Intensität ergeben sich die Klassen XM1, XM2 oder XM3. Für vergleichbare Beanspruchungen an der Oberfläche von Betonen, die nicht im Geltungsbereich der Norm liegen, ist eine Anlehnung an diese beton-technologischen Anforderungen für die Klassen XM ebenfalls sinnvoll.

Bei schleifender Beanspruchung können feinkörnige Bestandteile abhängig von der Reibung und Rauigkeit der Kontaktflächen herausgerissen werden. Diese Beanspruchung führt zu einem Abtrag der Oberfläche. Ursache eines solchen Angriffs können bremsende bzw. Kurven fahrende Fahrzeuge oder geschobene schwere Gegenstände sein.

Eine rollende Beanspruchung tritt sowohl bei harter als auch bei weicher Bereifung der Räder auf. Zusätzlich zur schleifenden und reibenden Beanspruchung entsteht ein Saugeffekt, wenn sich zwischen Rad und Betonoberfläche harte Körner (z.B. Sand) befinden. Bei harten Rädern wirkt außerdem ein reibender und stoßender Angriff auf die Betonoberfläche. Die Folge ist, dass einzelne Gesteinskörner aus dem Gefüge gelockert oder herausgebrochen werden. Die genannten Beanspruchungen entstehen z.B. durch Fahrbetrieb mit gummibereiteten Rädern (weich) bzw. mit Kunststoffreifen (hart). Der Betrieb mit Stahlreifen ist unzulässig.

Eine schlagende Beanspruchung wird durch den Aufprall eines Körpers auf eine Betonoberfläche verursacht. Dabei werden der weichere Zementstein angegriffen, die Gesteinskörner freigelegt und schließlich aus ihrer Einbettung gelöst.

Unter Kavitation (Hohlraumbildung durch Sog) versteht man eine Beanspruchung, die bei hohen Fließgeschwindigkeiten von Flüssigkeiten auftreten kann. Sinkt der Druck einer strömenden Flüssigkeit unter ihren Dampfdruck, bilden sich in der Flüssigkeit Dampfbläschen. Bei anschließendem Druckanstieg kondensieren diese, ein Unterdruck entsteht und führt zu einer Schädigung überströmter Betonoberflächen.

Bei der Betonzusammensetzung für Verschleißbeanspruchungen sind die Zementgehalte für Festigkeiten ≤ C50/60 auf 360 kg/m³ begrenzt. Auf diese Weise soll der Mörtelanteil im Beton gering gehalten werden. Die Gesteinskörnungen bis 4 mm müssen überwiegend aus Quarz oder aus Stoffen gleicher Härte bestehen, das gröbere Korn über 4 mm aus Gestein oder künstlichen Stoffen mit hohem Verschleißwiderstand. Die Körner aller Gesteinskörnungen sollen mäßig raue Oberflächen und eine gedrungene Gestalt aufweisen, um eine gute Verankerung im Betongefüge zu erzielen. Um den Zementleimanspruch gering zu halten, soll das Gesteinskornmisch möglichst grobkörnig sein. Vorteilhaft sind stetige Sieblinien nahe der Sieblinie A oder Ausfallkörnungen zwischen den Sieblinien B und U. Für die Mehlkorngehalte sind die Anforderungen nach Tafel 3 einzuhalten. Die in Tafel 5 geforderte Begrenzung des Wasserzementwertes dient dazu, die Festigkeit des Zementsteins durch geringe Porosität zu erhöhen und den Verbund zwischen Gesteinskörnung und Zementstein zu optimieren. Hartstoffe nach DIN 1100 [3] können den Widerstand gegen Schleifverschleiß verbessern. Unterschieden werden die Gruppen A (allgemein), M (Metall) und KS (Elektrokorund und Siliziumkarbid) entsprechend Tafel 7. Für die Expositionsklasse XM3 ist die Verwendung von Hartstoffen grundsätzlich vorgeschrieben.

Tafel 7: Schleifverschleiß und Festigkeiten von Hartstoffen nach DIN 1100 [3]

Hartstoff-Gruppe	Schleifverschleiß		Biegezugfestigkeit Mittelwert	Druckfestigkeit Mittelwert
	Einzelwert	Mittelwert		
	cm ³ je 50 cm ²		[N/mm ²]	[N/mm ²]
	max.	max.	min.	min.
A	5,5	5,0	10	80
M	3,5	3,0	12	80
KS	1,7	1,5	10	80

Bei der Betonverarbeitung sollte die Konsistenz des Frischbetons nicht zu weich und der Wassergehalt des Betons nicht zu hoch sein, um eine Anreicherung von Zementschlümme oder Wasser an der Oberfläche zu verhindern. Vorteilhaft sind plastische Betone (Ausbreitmaßklasse F2 nahe F1). Die Verdichtung des Betons beim Einbau darf nicht zu lange erfolgen, um Wasseranreicherungen an der Oberfläche zu verhindern. Ein Abscheib- oder Glättvorgang sollte erst begonnen werden, wenn die Oberfläche nicht mehr glänzend feucht, sondern mattfeucht ist. Durch mehrmaliges Abscheiben bzw. Glätten kann eine deutliche Verbesserung des Verschleißwiderstands erreicht werden. Eine Vakuumbehandlung ist vorteilhaft, da hierdurch neben einer Festigkeitssteigerung der Wasserzementwert in der Betonrandzone gesenkt und der Zementstein im Einflussbereich der Vakuumierung besonders dicht und fest wird. Dem Schutz des Betons durch Nachbehandlung kommt eine entscheidende Bedeutung für den Verschleißwiderstand zu. Nach DIN 1045-3 müssen Betone der Expositionsklasse XM mindestens doppelt so lange nachbehandelt werden, wie in der Tabelle 2 der DIN 1045-3 gefordert. Einzelheiten zur Nachbehandlung enthält u. a. das Zement-Merkblatt Nachbehandlung von Beton [16]. Angaben zur Prüfung des Verschleißwiderstands von Gesteinskörnungen enthält DIN 4226-1 [4].

Die Überwachung auf der Baustelle für Betone der Expositionsclassen XM hat gemäß DIN 1045-3 der Überwachungsklasse 2 (bzw. bei Festigkeitsklassen $\geq C55/67$ der Überwachungsklasse 3) zu entsprechen. Ausgenommen hiervon sind übliche Betonböden im Industriebau.

5 Besondere Betoneigenschaften

5.1 Beton mit hohem Wassereindringwiderstand

Das Bauen mit wasserundurchlässigem Beton ist eine häufige Forderung und seit langem Stand der Technik. Die Gebrauchstauglichkeit vieler Bauwerke und Bauteile benötigt die Wasserundurchlässigkeit, wie z.B. Wasserbehälter, Klärbecken, Keller im Grundwasser (Weiße Wannen), Tunnel und Rohrleitungen. Der Beton übernimmt in diesen Fällen neben der tragenden auch die abdichtende Funktion. Arbeits- und Dehnfugen müssen Wasserdurchtritt sicher und dauerhaft verhindern. Im Geltungsbereich der DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ [9] werden weitergehende Forderungen an Planung (Konstruktion, Bemessung, Abdichtung, Betontechnik) und Bauausführung (Betonverarbeitung) gestellt.

Die Wasserundurchlässigkeit des Betons wird wesentlich durch den Gehalt an zusammenhängenden Kapillarporen im Zementstein bestimmt. Seine Dichtigkeit hängt deshalb vor allem vom Wasserzementwert und vom Hydratationsgrad des Zements ab. Kleine Wasserzementwerte verhindern, dass durch überschüssiges Wasser der Anteil fein verästelter Poren im entstehenden Zementsteingefüge zu groß wird. Die Anforderungen an Beton mit hohem Wassereindringwiderstand enthält Tafel 4.

Bei der Herstellung von Beton für wasserundurchlässige Ort betonbauteile sind im Allgemeinen Zemente mit üblicher Anfangsfestigkeit der Festigkeitsklasse 32,5 N und Zemente mit niedriger Hydratationswärme (NW) vorteilhaft. In der Praxis haben sich Gesteinskörnungen mit stetig verlaufenden Kornzusammensetzungen der Sieblinien zwischen A und B, zweckmäßig nahe der Sieblinie B, bewährt. Bei üblichen Bauteildicken empfiehlt sich ein Größtkorn von 32 mm. Dünne Bauteile oder eng liegende Bewehrung können ein Größtkorn von 16 mm, in Sonderfällen (z.B. Anschlussmischungen) von 8 mm erfordern. Der Mehlkorngehalt des Betons muss ausreichend hoch sein, darf jedoch 550 kg/m^3 entsprechend Tafel 3 nicht überschreiten. Um das Schwinden des Betons zu verringern, sollte ein Zement-

leimgehalt (einschl. angerechneter Flugasche) von maximal 290 l/m^3 eingehalten werden.

Der Nachweis des Wassereindringwiderstands ist in DIN 1045 nicht zwingend vorgeschrieben. Wenn ein Nachweis erfolgen soll, sind das Verfahren und die Konformitätskriterien zwischen dem Verfasser der Festlegungen und dem Hersteller zu vereinbaren. Alternativ zur Prüfung können auch Grenzwerte für die Betonzusammensetzung festgelegt werden. Im Geltungsbereich der DAfStb-Richtlinie [9] ist für Beton mit hohem Wassereindringwiderstand die Wassereindringtiefe e bei der Erstprüfung durch Prüfung nach DIN EN 12390-8 [6] nachzuweisen. Dabei muss jeder Einzelwert $e \leq 50 \text{ mm}$ sein.

Betone für wasserundurchlässige Bauwerke (Weiße Wannen) sind auf der Baustelle nach DIN 1045-3 in die Überwachungsklasse 2 (bei Festigkeitsklassen $\geq C55/67$ Überwachungsklasse 3) einzuordnen. Bei nur zeitweilig aufstauendem Sickerwasser und wenn in der Projektbeschreibung nichts anderes festgelegt ist, darf Beton mit hohem Wassereindringwiderstand auch in die Überwachungsklasse 1 eingestuft werden.

5.2 Anforderungen an Unterwasserbeton

Für tragende Bauteile, die unter Wasser eingebracht werden, darf nach DIN 1045-2 der Wasserzementwert 0,60 nicht überschreiten bzw. muss erforderlichenfalls geringer sein (z.B. bei Expositionsklasse XA). Der Mindestzementgehalt beträgt bei Verwendung von Gesteinskörnungen mit 32 mm Größtkorn 350 kg/m^3 . Der Beton soll beim Einbringen als zusammenhängende Masse fließen, um auch ohne Verdichtung ein geschlossenes Gefüge zu erzielen. Tafel 3 regelt die zulässigen Mehlkorngehalte. Bei der Betonverarbeitung soll im Allgemeinen mindestens Beton einer weichen Konsistenz ($\geq F3$; $\geq C3$) verwendet werden. Weitere Anforderungen an Beton für unter Wasser eingebrachte Bauteile werden u. a. in dem gesonderten Zement-Merkblatt Unterwasserbeton behandelt [16].

5.3 Betone beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Für Betone, die ohne Oberflächenabdichtung beim Umgang mit flüssigen (einschl. verflüssigter Gase) oder pastösen wassergefährdenden Stoffen dem Besorgnisgrundsatz des Wasserhaushaltgesetzes unterliegen, gilt neben den Anforderungen aus DIN 1045 die DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [10]. Aussagen hierzu werden u. a. in dem Zement-Merkblatt Auffangbauwerke behandelt [16].

5.4 Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis 250 °C

Für Betonbauteile, die mit Temperaturen bis 250 °C beansprucht werden, wird in DIN 1045 auf das Heft 337 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton verwiesen [14].

Mit steigender Erwärmung des Bauteils nimmt der Elastizitätsmodul des Betons ab, es kommt zu Gefügespannungen und Gefügelockerungen, die Festigkeit des Betons wird geringer, bleibende Schäden am Bauteil können entstehen.

Allgemein gilt, dass die Wärmedehnung der Gesteinkörnung möglichst nicht größer sein soll als die des Zementsteins. Eine Beurteilung der Eignung von Gesteinskörnungen durch einfache Kennwerte ist nicht möglich. DIN 1045 fordert die Verwendung von Gesteinskörnungen, die sich für diese Beanspruchung als geeignet erwiesen haben. Weiterhin ist die Eignung von der Reaktionsfähigkeit abhängig, insbesondere von der feinen Gesteinskörnung unter hydrothermalen Bedingungen (gleichzeitige Einwirkung von Wasserdampf und Temperaturen über 100 °C). Kalzitische Gesteinskörnungen können für Betone geeignet sein, wenn bei einer Erwärmung über 100 °C das freie Wasser so schnell entweichen kann, dass auch kurzfristig keine hydrothermalen Bedingungen entstehen [18]. Quarzitisches Ge-

steinskörnungen sind vor allem bei dickwandigen Konstruktionen vorteilhaft, wenn hydrothermale Reaktionen nicht auszu-schließen sind. Auch Hochofenschlacke hat sich als Gesteinskörnung bewährt, z.B. beim Bau von Industrieschornsteinen [18].

Für den Schutz des erhärtenden Betons durch Nachbehandlung ist es zweckmäßig, die Nachbehandlungszeiten entsprechend den Zeilen 3 und 4 der Tafel 2 in DIN 1045-3 [2] mindestens zu verdoppeln.

Betone mit hohen Gebrauchstemperaturen bis 250 °C sind gemäß DIN 1045-3 auf der Baustelle nach der Überwachungs-klasse 2 (bzw. bei Festigkeitsklassen \geq C55/67 nach Überwa-chungsklasse 3) zu überwachen.

6 Normen, Vorschriften

- [1] DIN EN 206-1: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, 07/2001.
- [2] DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. 07/2001.
Teil 1: Bemessung und Konstruktion
Teil 2: Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
Teil 3: Bauausführung
Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und Konformität von Fertigteilen
- [3] DIN 1100: Hartstoffe für zementgebundene Hartstoff-estriche.
- [4] DIN 4226-1: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel. Normale und schwere Gesteinskörnungen, 07/2001.
- [5] DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton. Teile 1 bis 7.
- [6] DIN EN 12390: Prüfung von Festbeton. Teile 1 bis 8.
- [7] DIN 19569-1: Kläranlagen - Baugrundsätze für Bauwerke und technische Ausrüstungen; Teil 1: Allgemeine Bau-grundsätze.

- [8] DIN-Fachbericht 100: Beton. Zusammenstellung von DIN EN 206-1 und DIN 1045-2. 1. Auflage 2001.
- [9] DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, (Entwurf 6/2002).
- [10] DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Teile 1 bis 6. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, 09/1996
- [11] ZTV Beton-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedin-gungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton¹⁾.
- [12] ZTV BEB-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedin-gungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen - Betonbauweisen (in Vorbereitung)¹⁾.
- [13] Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luft-porenbeton¹⁾.
- [14] Schneider, U.: Verhalten von Beton bei hohen Tempera-turen. DAfStb-Heft Nr. 337, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, 1982.
- [15] Bauteilkatalog: Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Verlag Bau+Technik VBT, Düsseldorf, 2002.
- [16] Zementmerkkblätter: Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Verlag Bau+Technik VBT, Düsseldorf.
- [17] Grube, H.; Kerkhoff, B.: Die neuen deutschen Beton-normen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 als Grundlage für die Planung dauerhafter Bauwerke. Beton, Heft 3, Verlag Bau+Technik VBT, Düsseldorf, 2001.
- [18] Weigler, H.; Karl, S.: Beton - Arten, Herstellung, Eigen-schaften. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2001.

¹⁾ Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) e.V., Köln

Bauberatung Zement



Wir beraten Sie in allen Fragen der Betonanwendung

Bauberatung Zement Bayern	Rosenheimer Str. 145 g	81671 München	Tel. 089/45098490	Fax: 45098498	eMail:BB_Muenchen@BDZement.de
Bauberatung Zement Bayern	Rotterdamer Straße 7	90451 Nürnberg	Tel. 0911/93387-0	Fax: 9338733	eMail:BB_Nuernberg@BDZement.de
Bauberatung Zement Beckum	Annastraße 3	59269 Beckum	Tel. 02521/ 873020	Fax: 873029	eMail:BB_Beckum@BDZement.de
Bauberatung Zement Düsseldorf	Schadowstraße 44	40212 Düsseldorf	Tel. 0211/353001	Fax: 353002	eMail:BB_Duesseldorf@BDZement.de
Bauberatung Zement Hamburg	Immenhof 2	22087 Hamburg	Tel. 040/2276878	Fax: 224621	eMail:BB_Hamburg@BDZement.de
Bauberatung Zement Hannover	Hannoversche Str. 21	31319 Sehnde-Höver	Tel. 05132/6015	Fax: 6075	eMail:BB_Hannover@BDZement.de
Bauberatung Zement Ost	Luisenstraße 44	10117 Berlin-Mitte	Tel. 030/28002-400	Fax: 28002450	eMail:BB_Berlin@BDZement.de
Bauberatung Zement Ost	Dohnanystr. 28-30	04103 Leipzig	Tel. 0341/6010201	Fax: 6010290	eMail:BB_Leipzig@BDZement.de
Bauberatung Zement Stuttgart	Leonberger Straße 45	71229 Leonberg	Tel. 07152/71081-82	Fax: 9792960	eMail:BB_Stuttgart@BDZement.de
Bauberatung Zement Wiesbaden	Friedrich-Bergius-Str. 7	65203 Wiesbaden	Tel. 0611/1821170	Fax: 182117-16	eMail:BB_Wiesbaden@BDZement.de

12.02

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. · Postfach 510566 · 50941 Köln · <http://www.BDZement.de> · eMail:Bauberatung@BDZement.de