

Betonbauwerke müssen die auftretenden Beanspruchungen sicher aufnehmen und über viele Jahrzehnte dagegen widerstandsfähig bleiben. Festlegungen zur 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] Teil 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, dass Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit gleichrangige Kriterien sind [3]. 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 für übliche Hochbauten festgelegt werden. Als Arbeitshilfe und um die Anwendung von DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 in der Praxis zu erleichtern, enthält der DIN-Fachbericht 100 [4] die inhaltliche Zusammenstellung beider Normen in einem durchgängig lesbaren Text.

2 Expositionsklassen

Bei der Planung von Bauteilen bzw. Bauwerken sind sowohl die lastunabhängigen als auch die lastabhängigen Einwirkungen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit zu berücksichtigen. 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, Mindestdruckfestigkeitsklassen, Rechenwerte der Rissbreite, Betondeckung der Bewehrung und Nachbehandlungsdauer werden den Expositionsklassen zugeordnet.

Für die Festlegungen der Dauerhaftigkeit stehen insgesamt sieben Expositionsklassen zur Verfügung, die jeweils in bis zu vier weitere Klassen untergliedert sind. Unterschieden werden Einwirkungen auf die Bewehrung im Beton (XC, XD, XS: Bewehrungskorrosion) sowie auf den Beton selbst (XF, XA, XM: Betonangriff).

Die Expositionsklasse X0 (kein Angriffsrisiko) gilt nur für Betone ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall in In-

nenräumen oder im Boden, bei denen kein Korrosions- oder Angriffsrisiko vorliegt. Diese Expositionsklasse kann z. B. auf unbewehrte Fundamente zutreffen.

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

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

Mögliche Einwirkungen auf den Baustoff Beton werden berücksichtigt durch die Expositionsklassen:

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

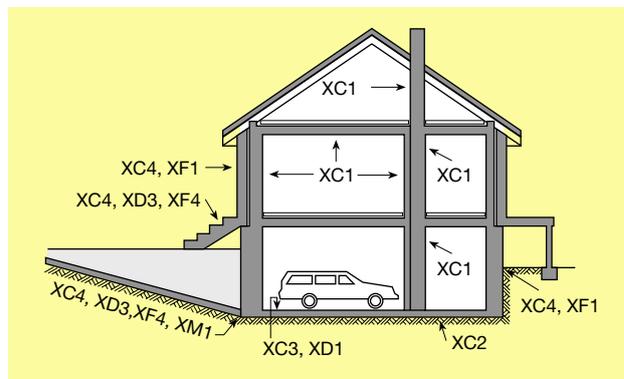


Bild 1: Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositionsklassen an einem Wohnhaus

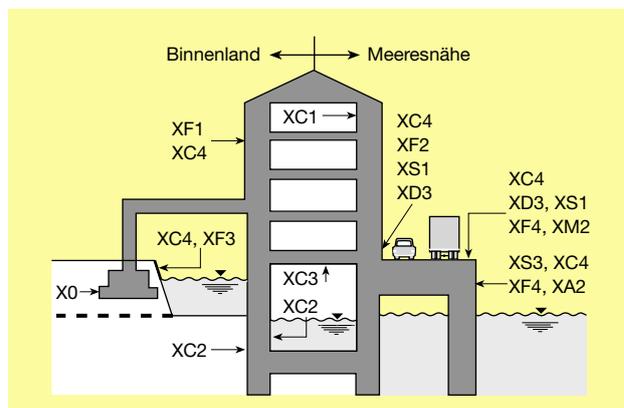


Bild 2: Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositionsklassen im Hoch- und Ingenieurbau in Anlehnung an [3]

Die Tafeln 1 und 2 enthalten eine Übersicht über die Expositionsklassen. Aufgabe des Verfassers von Festlegungen ist es, für die zu erwartenden Einwirkungen auf ein Bauteil die zutreffenden Expositionsklassen zu bestimmen. Die Expositionsklassen werden für die jeweilige Betonoberfläche festgelegt. Für ein Bauteil können gleichzeitig mehrere Expositionsklassen maßgebend sein. Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositionsklassen an bewehrten Bauteilen aus dem Bereich des Wohnungsbaus und des Hoch- bzw. Ingenieurbaus sind in den Bildern 1 und 2 dargestellt.

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 mindestens zwei Expositionsklassen (XC4, XF1) zutreffend. Weitere

Beispiele für die Zuordnung einzelner Betonbauteile aus verschiedenen Bereichen des Betonbaus sind in [7] aufgeführt.

Sinnvollerweise wird in der Festlegung aus jeder Expositionsklasse (XC, XD, XF usw.) nur die maßgebende Angriffsstufe aufgeführt. Wenn eine Wand zum Beispiel auf einer Seite einem Angriff gemäß XC3 ausgesetzt ist, auf 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, Tabelle F.3.1 „Anwendungsbereiche für Zemente“ auch Zemente aufgeführt sind, die für die Angriffsklassen XC2, XD2 oder XS2 verwendet werden dürfen, nicht aber für die Angriffsklassen XC1, XD1 oder XS1, benötigt der Betonhersteller

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

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)	Mindestdruckfestigkeitsklasse min f_{ck}
Kein Korrosions- oder Angriffsrisiko <i>Bauteile ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall in nicht Beton angreifender Umgebung</i>			
X0	alle Umgebungsbedingungen, außer XF, XA, XM	Fundamente ohne Bewehrung ohne Frost	C12/15 ¹⁾
		Innenbauteile ohne Bewehrung	C8/10
Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung <i>Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält und Luft sowie Feuchtigkeit ausgesetzt ist</i>			
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 <i>Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält und chloridhaltigem Wasser, einschließlich Tausalz, ausgenommen Meerwasser, ausgesetzt ist</i>			
XD1	mäßige Feuchte	Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen	C30/37 C25/30 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2
		Einzelgaragen	
XD2	nass, selten trocken	Solebäder	C35/45 ²⁾ C30/37 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2, erforderlich bei XF4
		Bauteile, die chloridhaltigen Industrieabwässern ausgesetzt sind	
XD3	wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken mit häufiger Beanspruchung durch chloridhaltiges Spritzwasser	C35/45 C30/37 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2, erforderlich bei XF4
		Fahrbahndecken; direkt befahrene Parkdecks	
Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser <i>Beton, der Bewehrung oder anderes eingebettetes Metall enthält und Chloriden aus Meerwasser oder salzhaltiger Seeluft ausgesetzt ist</i>			
XS1	salzhaltige Luft, aber kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser	Außenbauteile in Küstennähe	C30/37 C25/30 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF1, XF2 oder XF3
XS2	unter Wasser	ständig unter Wasser liegende Bauteile in Hafenanlagen	C35/45 ²⁾ C30/37 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF3, erforderlich bei XF4
XS3	Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Kaimauern in Hafenanlagen	C35/45 C30/37 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 oder XF3, erforderlich bei XF4

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

²⁾ Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

³⁾ Ausführung nur mit zusätzlichen Maßnahmen (z. B. Rissüberbrückende Beschichtung, siehe DAfStb-Heft 526 [5] und [6])

die Angabe jeweils beider Expositionsklassen, um die Verwendung eines dafür nach Norm nicht geeigneten Zements sicher auszuschließen. In den nachstehenden drei Fällen ist es daher erforderlich, wenn zutreffend, zwei Angriffsklassen 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 hinsichtlich der Dauerhaftigkeit eine Betonzusammensetzung, die bestimmten Anforderungen genügen muss. Diese werden vorrangig durch den höchstzulässigen Wasserzementwert charakterisiert, der für Normal- und Schwerbeton eine erforderliche Mindestdruckfestigkeit nach

sich zieht. Der Verfasser von Festlegungen hat neben den übrigen Anforderungen bei der Bemessung die Mindestdruckfestigkeitsklasse einzuhalten, sofern sich aufgrund der statischen Anforderungen keine höhere Druckfestigkeitsklasse ergibt. Die Mindestdruckfestigkeitsklasse für die Stahlbetonaußenwände eines Wohnhauses (XC4, XF1) aus der Forderung der Dauerhaftigkeit beträgt beispielsweise $f_{ck} \geq C25/30$.

■ 3 Anforderungen an den Mehlkorngelalt

Um dem Beton ein geschlossenes Gefüge zu geben und ihn gut verarbeiten zu können, ist ein ausreichender Mehlkorngelalt (Kornanteil $\leq 0,125$ mm) wichtig. Ein zu niedriger Mehlkorngelalt kann ein Wasserabsondern des Betons, auch „Bluten“ genannt,

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

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)	Mindestdruckfestigkeitsklasse min f_{ck}
Betonangriff durch Frost mit und ohne Taumittel <i>Durchfeuchteter Beton, der einem erheblichen Angriff durch Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt ist</i>			
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 ¹⁾
		Betonbauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser	C25/30 LP
XF3	hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	offene Wasserbehälter	C35/45 ¹⁾
		Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser	C25/30 LP
XF4	hohe Wassersättigung, mit Taumittel	mit Taumitteln behandelte Verkehrsflächen	C30/37 LP
		überwiegend horizontale Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, Betonschutzwände	
		Räumerlaufbahnen von Kläranlagen ²⁾	
		Meerwasserbauteile in der Wasserwechselzone	
Betonangriff durch aggressive chemische Umgebung <i>Beton, der chemischen Angriffen durch natürliche Böden oder Grundwasser gemäß Tafel 6 oder Meerwasser oder Abwasser ausgesetzt ist</i>			
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung	Behälter von Kläranlagen	C25/30
		Güllebehälter	
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung und Meeresbauwerke	Betonbauteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen	C35/45 ¹⁾
		Bauteile in Beton angreifenden Böden	C30/37 LP möglich, wenn gleichzeitig XF
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern	C35/45
		Füttertische der Landwirtschaft	C30/37 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 oder XF3, erforderlich bei XF4
		Kühltürme mit Rauchgasableitung	
Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung <i>Beton, der einer erheblichen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist</i>			
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge	C30/37 C25/30 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 oder XF3, erforderlich bei XF4
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler	C35/45 C30/37 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 oder XF3, erforderlich bei XF4 C30/37 wenn Oberflächenbehandlung
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung	tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch elastomer- oder stahlrollenbereifte Gabelstapler	C35/45 Hartstoffe nach DIN 1100 [9] C30/37 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 oder XF3, erforderlich bei XF4 Hartstoffe nach DIN 1100 [9]
		mit Kettenfahrzeugen häufig befahrene Oberflächen	
		Wasserbauwerke in geschiebelasteten Gewässern, z. B. Tosbecken	

¹⁾ Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

²⁾ Weitere Besonderheiten für Räumerlaufbahnen und erdfeuchte Betone siehe DAfStb-Heft 525 [8].

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 ²⁾
≥ 350	500 ²⁾	450 ²⁾	550 ²⁾

- ¹⁾ Für Zwischenwerte ist der Mehlkorngelalt linear zu interpolieren.
²⁾ Die Werte dürfen insgesamt um max. 50 kg/m³ erhöht werden, wenn
 - der Zementgehalt 350 kg/m³ übersteigt, um den über 350 kg/m³ hinausgehenden Zementgehalt,
 - ein puzzolanischer Zusatzstoff Typ II (z. B. Flugasche, Silikastaub) verwendet wird, um dessen Gehalt.

zur Folge haben. Andererseits kann ein zu hoher Mehlkorngelalt den Frischbeton für die Verarbeitung zäh und klebrig machen, den Wasseranspruch erhöhen und die Festbetoneigenschaften verschlechtern. Aus diesem Grund sind in DIN 1045-2 die Mehlkorngelalte für Betone mit Festigkeiten bis einschließlich C50/60 und LC50/55 auf die in Tafel 3 angegebenen Werte begrenzt. Grenzwerte für hochfeste Betone enthält ebenfalls DIN 1045-2 in Tabelle F.4.2 und Abschnitt 5.3.2.

■ 4 Anforderungen aus den Expositionsklassen

Aufbauend auf der Klasseneinteilung werden für die verschiedenen Expositionsklassen Anforderungen an die Zusammensetzung des Betons festgelegt. Die Tafeln 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 bzw. max (w/z)_{eq})
- Mindestzementgehalt (min z)
- Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons (min f_{ck})

Fallweise kommen besondere Anforderungen an Ausgangsstoffe, Betonoberfläche oder Luftgehalt des Frischbetons hinzu.

Da die Beanspruchungen durch chloridhaltiges Wasser einschließlich Tausalz (XD) einerseits und durch Chloride aus Meerwasser (XS) andererseits nahezu gleich 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 B 1 „Zemente und ihre Herstellung“ [11].

Für massige Bauteile (kleinste Bauteilabmessung ≥ 80 cm) gelten weitergehende Anforderungen nach der DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ [12].

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. Für ein bewehrtes, tausalzbeanspruchtes Ortbeton-Außenbauteil (z. B. Treppenpodest im Freien) bedeutet dies beispielsweise, dass entsprechend den hierbei zutreffenden Expositionsklassen XC4, XF4 und XD3 der Grenzwert für den äquivalenten Wasserzementwert (w/z)_{eq} ≤ 0,45 beträgt, ein Mindestzementgehalt von z ≥ 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 die Hydratation des Zements erforderlich ist. Dieses Überschusswasser hinterlässt später im erhärteten Beton ein System haarförmiger Poren (Kapillarporen). Wenn Porenwasser bei einem Frostangriff ganz oder teilweise gefriert, erzeugt das entstehende Eis Druck auf die Porenwandungen, der bei nicht sachgerecht zusammengesetztem Beton zur Zerstörung des Betongefüges führen kann. Bei zusätzlichem Einwirken von Taumitteln kann diese Beanspruchung wesentlich verstärkt werden. Diese Frosteinwirkungen werden durch die Expositionsklassen XF erfasst. Anforderungen an die Betonzusammensetzung für diese Beanspruchungen sind in Tafel 5 festgelegt. Beispiele für gefährdete Betonflächen und deren Einstufung enthält Tafel 2.

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 ⁴⁾⁶⁾	
		Karbonatisierung				Chloride nicht aus Meerwasser Chloride aus Meerwasser				
Expositionsklasse	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3	Bauteildicke d ≤ 40 cm	Bauteildicke d > 40 cm
min f _{ck} ¹⁾	C8/10 C12/15 ⁵⁾	C16/20		C20/25	C25/30	C30/37 ²⁾	C35/45 ²⁾⁷⁾	C35/45 ²⁾	C25/30	k.A.
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		280	k.A.
min z ³⁾ [kg/m ³] (bei Anrechnung von Zusatzstoffen)	–	240		270		270			270	k.A.

- ¹⁾ Gilt nicht für Leichtbeton
²⁾ Bei LP-Beton, z. B. aufgrund gleichzeitiger Anforderung aus Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger
³⁾ Bei 63 mm Größtkorn darf der Mindestzementgehalt (min z) um 30 kg/m³ verringert werden.
⁴⁾ Bei Nachweis des Wassereindringwiderstands an Probekörpern sind Prüfverfahren und Konformitätskriterien zu vereinbaren.
⁵⁾ Bei Beton für tragende Bauteile nach [2] Teil 1
⁶⁾ Bei Betonen für wasserundurchlässige Bauwerke nach der WU-Richtlinie [10] gelten z.T. weitergehende Anforderungen.
⁷⁾ Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen (r < 0,30) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

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

Expositions-klasse	Betonangriff durch											
	Frost						Aggressive chemische Umgebung			Verschleiß ¹⁾		
	XF1	XF2		XF3		XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
min $f_{ck}^{2)}$	C25/30	C25/30 LP	C35/45 ¹¹⁾	C25/30 LP	C35/45 ¹¹⁾	C30/37 LP	C25/30	C35/45 ³⁾¹¹⁾	C35/45 ³⁾	C30/37 ³⁾		C35/45 ³⁾
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 EN 12620 sowie DIN V 20000-103 und -104 [13, 14])						–	9)	–	Oberflächenbehandlung des Betons ¹⁰⁾	–	Hartstoffe nach DIN 1100 [9]
	F ₄	MS ₂₅		F ₂		MS ₁₈						

¹⁾ Es dürfen nur Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 unter Beachtung der Festlegungen von DIN V 20000-103 verwendet werden.

²⁾ Gilt nicht für Leichtbeton

³⁾ Bei LP-Beton aufgrund gleichzeitiger Anforderung aus Expositionsklasse XF eine Festigkeitsklasse niedriger

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 $z = 360 \text{ kg/m}^3$, jedoch nicht für hochfesten Beton (Festigkeitsklasse $\geq C55/67$)

⁷⁾ Mittlerer Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau: Größtkorn 8 mm $\geq 5,5 \text{ Vol.-%}$; Größtkorn 16 mm $\geq 4,5 \text{ Vol.-%}$; Größtkorn 32 mm $\geq 4,0 \text{ Vol.-%}$; Größtkorn 63 mm $\geq 3,5 \text{ Vol.-%}$. Einzelwerte dürfen diese Werte um max. 0,5 Vol.-% unterschreiten. Für Fließbeton Mindestluftgehalt um 1 Vol.-% erhöhen.

⁸⁾ Erdfeuchter Beton mit $w/z \leq 0,40$ darf ohne Luftporen hergestellt werden.

⁹⁾ Schutz des Betons erforderlich, ggf. besonderes Gutachten für Sonderlösung

¹⁰⁾ z.B. Vakuumieren und Flügelglätten des Betons

¹¹⁾ Bei langsam und sehr langsam erhärtenden Betonen ($r < 0,30$) eine Festigkeitsklasse niedriger. Die Druckfestigkeit zur Einteilung in die geforderte Druckfestigkeitsklasse ist auch in diesem Fall an Probekörpern im Alter von 28 Tagen zu bestimmen.

Wenn ein Mindestgehalt an wirksamen Luftporen gemäß Tafel 5, Fußnote 7 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 [15] zu Beginn jedes Betonierabschnitts sowie zusätzlich in Zweifelsfällen. Für Fließbeton (Ausbreitmaßklasse $\geq F_4$) 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 [16].

Für Betone der Expositionsklassen XF müssen Gesteinskörnungen die Regelanforderungen und zusätzlich den Widerstand gegen Frost (F_4, F_2) bzw. Frost und Taumittel (MS_{25}, MS_{18}) entsprechend DIN EN 12620 [13] und DIN V 20000-103 und -104 [14] erfüllen. Für Bauwerke im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) gelten weitere Anforderungen nach den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen (ZTV) und den Technischen Lieferbedingungen (TL Gestein-StB 2004). Grenzwerte für den Mehlkorngelb enthält Tafel 3. Regeln für die Anwendung von Zement enthält u. a. das Zement-Merkblatt B 1 „Zemente und ihre Herstellung“ [11].

Die Maßnahmen für die Überwachung des Betons auf der Baustelle sind in DIN 1045-3 geregelt. Betone entsprechend der Expositionsklasse XF1 fallen in Überwachungsklasse 1 (Beton für Bauwerke nach ZTV-ING jedoch auch bei XF1 in Überwachungsklasse 2); die Expositionsklassen XF2, XF3 und XF4 erfordern die Überwachungsklasse 2 (bzw. bei Festigkeitsklassen $\geq C55/67$ Überwachungsklasse 3).

LP-Betone der Expositionsklasse XF4 sollten erst dann einer Taumittelinwirkung ausgesetzt werden, wenn der Beton ausrei-

chend erhärtet ist und wenigstens einmal austrocknen konnte. Bei Betonflächen, die im Herbst hergestellt werden, wird von der ZTV Beton-StB [17] eine Imprägnierung der Betonoberfläche gegen Taumittelinwirkung empfohlen. Nähere Angaben enthält die ZTV BEB-StB [18]. Für andere Betonflächen, die vor der ersten Austrocknung mit Taumittel 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 in entsprechend hoher Konzentration enthalten. Das Angriffsvermögen von weichen Wässern ist bei dichten Betonen gering.

Bei den angreifenden Stoffen handelt es sich meist um wässrige Lösungen unterschiedlicher Konzentrationen oder um 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 Zementsteins reagieren; dabei entsteht Ettringit. Hiermit verbunden ist eine Volumenvergrößerung, die ein Zertreiben des Betons bewirken kann. *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 chemisch angreifender Grundwässer und Böden bei natürlicher Zusammensetzung. Aufgrund der Einstufung ergeben sich die Expositionsclassen XA1, XA2 oder XA3. Die Anforderungen an die Betonzusammensetzung ergeben sich nach Tafel 5. Das Einwirken von chemischen Stoffen, die nicht in DIN EN 206-1 genannt werden, muss im Einzelfall bewertet werden. Hilfestellung gibt z. B. [19]. Vorteilhaft sind sandarme Gesteinskörnungsmische mit einem möglichst geringen Wasseranspruch. Für eine gute Verarbeitung und ein geschlossenes Gefüge des Betons ist ein ausreichender Mehlkorngelalt allerdings 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 für die Expositionsclassen XA3 muss zusätzlich vor unmittelbarem Kontakt mit den angreifenden Stoffen geschützt werden, wenn nicht durch ein Gutachten die Eignung einer anderen Lösung nachgewiesen wird. Als Schutzmaßnahmen kommen Schutzschichten (Anstriche, Beschichtungen) oder dauerhafte Bekleidungen in Frage (Dichtungsbahnen aus Kunststofffolien oder aus getränkten bzw. beschichteten Pappen, Plattenverkleidungen).

Die Überwachung auf der Baustelle für Betone der Expositionsclassen XA erfolgt entsprechend DIN 1045-3 nach den Maßnah-

men der Überwachungsklassen 2 (bzw. bei Festigkeitsclassen $\geq C55/67$ Überwachungsklassen 3).

4.3 Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung

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. in Werkstätten, auf Verladerampen) oder durch stark strömendes und Feststoffes führendes Wasser (z. B. in Tosbecken, Geschieberinnen) 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 Expositionsclassen XM geregelt (siehe Tafel 5). Je nach Intensität des zu erwartenden Verschleißes ergeben sich die Classen XM1, XM2 oder XM3. Für vergleichbare Beanspruchungen an die Oberfläche von Betonen, die nicht im Geltungsbereich der Norm liegen, ist eine Anlehnung an diese betontechnologischen Anforderungen für die Classen 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 bewegte schwere Gegenstände sein.

Eine *rollende* Beanspruchung tritt sowohl bei harter als auch bei weicher Bereifung der Räder auf. Durch Bremsen oder durch Schlupf zwischen Reifen und Betonoberfläche entsteht eine schleifende und reibende Beanspruchung. Bei weicher Bereifung wirkt insbesondere bei profilierten Reifen durch die Verformung ein zusätzlicher Saugeffekt auf die Betonoberfläche. Bei harten Rädern wirkt ein reibender und stoßender Angriff auf die Betonoberfläche. Die Folge kann sein, dass einzelne Gesteinskörner aus dem Gefüge gelockert oder herausgebrochen werden. Die genannten Beanspruchungen entstehen z. B. durch Fahrbetrieb mit gummibereiften Rädern (weich) bzw. mit Kunststoffreifen (hart). Der Betrieb mit Stahlreifen ist unzulässig.

Tafel 6: Grenzwerte für die Expositionsclassen bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser¹⁾²⁾ [1, 2, 4]

Chemisches Merkmal	XA1 (schwach angreifend)	XA2 (mäßig angreifend)	XA3 (stark angreifend)
Grundwasser			
pH-Wert	6,5...5,5	< 5,5...4,5	< 4,5 und \geq 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 \leq 6000
Boden			
Sulfat ⁵⁾ (SO ₄ ²⁻) [mg/l] insgesamt	2000...3000 ⁶⁾	> 3000 ⁶⁾ ...12000	> 12000 und \leq 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 Classen, davon mindestens eines im oberen Viertel (bei pH im unteren Viertel), ist die Umgebung der nächsthöheren Classen zuzuordnen. Ausnahme: Nachweis über eine spezielle Studie, dass dies nicht erforderlich ist.

³⁾ Gülle darf, unabhängig vom NH₄⁺-Gehalt, in Expositionsclassen XA1 eingeordnet werden.

⁴⁾ Bei chemischem Angriff durch Sulfat (ausgenommen Meerwasser) für Expositionsclassen XA2 und XA3 ist Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) erforderlich. Für SO₄²⁻ \leq 1500 mg/l ist anstelle HS-Zement auch eine Mischung aus Zement und Flugasche zulässig (nach [4] Abschn. 5.2.5.2.2).

⁵⁾ Tonböden mit einer Durchlässigkeit $\leq 10^{-6}$ m/s dürfen in eine niedrigere Classen eingestuft werden.

⁶⁾ Ggf. Grenzwert auf 2000 mg/kg vermindern entsprechend Regelung DIN EN 206-1, Tabelle 2, Fußnote c

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

Bei der Betonzusammensetzung für Verschleißbeanspruchungen sind die Zementgehalte für Festigkeiten \leq C50/60 auf 360 kg/m³ begrenzt. Auf diese Weise soll der Mörtelanteil im Beton gering gehalten werden. Die Gesteinskörner sollen mäßig raue Oberflächen und eine gedrungene Form aufweisen, um eine gute Verankerung im Betongefüge zu erzielen. Um den Zementleimanspruch gering zu halten, soll das Gesteinskorngemisch möglichst grobkörnig sein. Vorteilhaft sind stetige Sieblinien nahe der Sieblinie A oder Ausfallkörnungen zwischen den Sieblinien B und U nach DIN 1045-2. Die Anforderungen an Mehlkorngelalte nach Tafel 3 sind 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 [9] 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.

Bei der Betonverarbeitung sollte die Konsistenz des Frischbetons nicht zu weich und der Wassergehalt des Betons nicht zu hoch sein, um eine Anreicherung von Zementschlämme oder Wasser an der Oberfläche zu verhindern. Vorteilhaft sind plastische Betone (Ausbreitmaßklasse F2 nahe F1). Der Beton darf beim Einbau nicht zu lange verdichtet werden, damit sich an der Oberfläche kein Wasser anreichert. Mit dem Abscheiben oder Glätten 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 vor dem Abscheiben und Glätten 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 so lange nachbehandelt werden, bis der oberflächennahe Beton 70 % der charakteristischen Festigkeit besitzt. Alternativ kann eine Verdopplung der Nachbehandlungsdauer nach Tabelle 2 der DIN 1045-3 angesetzt werden. Einzelheiten zur Nachbehandlung enthält u. a. das Zement-Merkblatt B 8 „Nachbehandlung von Beton“ [11]. Angaben zur Prüfung des Verschleißwiderstands von Gesteinskörnungen enthält DIN EN 12620 [13].

Die Überwachung auf der Baustelle für Betone der Expositions-klassen 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, sofern sie nicht als tragende oder aussteifende Bauteile definiert sind.

■ 5 Besondere Betoneigenschaften

5.1 Beton mit hohem Wassereindringwiderstand

Das Bauen mit wasserundurchlässigem Beton hat sich bewährt

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

Hartstoff-Gruppe	Schleifverschleiß (nach Böhme, DIN 52108)		Biegezugfestigkeit Mittelwert	Druckfestigkeit Mittelwert
	Einzelwert	Mittelwert		
	[cm ³ /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

und ist seit langem Stand der Technik. Der Beton übernimmt hierbei neben der tragenden auch die abdichtende Funktion. Arbeits- und Dehnfugen müssen einen Wasserdurchtritt sicher und dauerhaft verhindern. Im Geltungsbereich der DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ [10] werden weitergehende Forderungen an Planung (Konstruktion, Bemessung, Abdichtung, Beton, 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, vom Hydratationsgrad des Zements und der Bauteildicke ab. Geringe Wasserzementwerte verhindern, dass durch überschüssiges Wasser das fein verästelte Kapillarporensystem im entstehenden Zementsteingefüge zu groß wird. Die Anforderungen an Beton mit hohem Wassereindringwiderstand enthält Tafel 4.

Bei der Herstellung von Beton für wasserundurchlässige Ortbetonbauteile sind im Allgemeinen Zemente mit üblicher Anfangsfestigkeit der Festigkeitsklasse 32,5 N und Zemente mit niedriger Hydratationswärme (LH) 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 \geq 30 cm 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. In der WU-Richtlinie werden für Beanspruchungsklasse 1 Anforderungen an das maximale Größtkorn in Abhängigkeit vom lichten Maß zwischen den Bewehrungslagen gestellt. Der Mehlkorngelalt des Betons muss ausreichend hoch sein, darf jedoch 550 kg/m³ entsprechend Tafel 3 nicht überschreiten. Um das Schwinden des Betons zu verringern, sollte ein Zementleimgehalt (einschl. angerechneter Flugasche) von maximal 290 l/m³ eingehalten werden [20].

5.2 Anforderungen an Unterwasserbeton

Bei Beton für tragende Bauteile, der unter Wasser eingebracht wird, darf nach DIN 1045-2 der Wasserzementwert 0,60 nicht überschreiten bzw. muss erforderlichenfalls geringer sein (z. B. bei Expositions-klasse XA). Der Mindestzementgehalt beträgt bei Verwendung von Gesteinskörnungen mit 32 mm Größtkorn 350 kg/m³. Der Beton soll beim Einbringen als zusammenhängende Masse fließen, um auch ohne Verdichtung ein geschlossenes Gefüge zu erzielen. Tafel 3 regelt auch hierfür die zulässigen Mehlkorngelalte. 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 Zement-Merkblatt B 12 „Unterwasserbeton“ behandelt [11].

5.3 Betone beim Umgang mit Wasser gefährdenden Stoffen

Beim Umgang mit flüssigen (einschl. verflüssigten Gasen) oder pastösen Wasser gefährdenden Stoffen ist der Besorgnisgrundsatz des Wasserhaushaltgesetzes zu beachten. Zur Kontaminationsprävention des Grundwassers können unbeschichtete Sekundärbarrieren aus Beton verwendet werden, für die neben den Anforderungen aus DIN 1045 die DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [21] gilt.

5.4 Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis 250 °C

Für Betonbauteile, die planmäßig mit Temperaturen bis 250 °C beansprucht werden, wird in DIN 1045 auf Heft 337 [22] und Heft 526 [5] des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton verwiesen.

■ 6 Normen, Vorschriften

- [1] DIN EN 206-1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (2001-07) mit DIN EN 206-1/A1.
- [2] DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton (2001-07).
Teil 1: Bemessung und Konstruktion mit DIN 1045-1/A1
Teil 2: Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1 mit DIN EN 206-1/A1
Teil 3: Bauausführung mit DIN 1045-3/A1
Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und Konformität von Fertigteilen
- [3] Grube, H.; Kerkhoff, B.: Die neuen deutschen Betonnormen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 als Grundlage für die Planung dauerhafter Bauwerke. beton 51 (2001), H. 3, S. 173-177.
- [4] DIN-Fachbericht 100: Beton. Zusammenstellung von DIN EN 206-1 und DIN 1045-2. 2. Auflage 2005.
- [5] Erläuterungen zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN 4226. Heft 526, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 2003.
- [6] Parkhäuser und Tiefgaragen. DBV-Merkblatt (Jan. 2005), Deutscher Beton- und Bautechnik Verein, Berlin.
- [7] Bauteilkatalog: Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Verlag Bau+Technik VBT, Düsseldorf 2004.
- [8] Erläuterungen zu DIN 1045-1. Heft 525, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 2003 + Berichtigung 2005.
- [9] DIN 1100: Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche (2004-05).
- [10] DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie, 2003-11). Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin.
- [11] Zementmerkblätter: Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Verlag Bau+Technik VBT, Düsseldorf. Download unter www.vdz-online.de.
- [12] DAfStb-Richtlinie Massige Bauteile aus Beton (2005-03). Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin.
- [13] DIN EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton (2003-04).
- [14] DIN V 20000: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken (2004-04), Teil 103: Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620:2003-04; Teil 104: Leichte Gesteinskörnungen nach DIN EN 13055-1:2002-08.
- [15] DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton. Teil 7 (2000-03).
- [16] Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporbeton. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) e.V., Köln.
- [17] ZTV Beton-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) e.V., Köln.
- [18] ZTV BEB-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen – Betonbauweisen. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) e.V., Köln.
- [19] Stoffe, die chemisch auf Beton einwirken. Cementbulletin 63 (1995) Heft 11.
- [20] Lohmeyer, G.; Ebeling, K.: Weiße Wannen – einfach und sicher. Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2004.
- [21] DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (2004-10). Teile 1 bis 6. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin.
- [22] Schneider, U.: Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen. Heft 337, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 1982.

Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

Regionale Ansprechpartner	www.beton.org
BetonMarketing Nord GmbH Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde-Höver, Tel.: 05132 8796-0, Fax: 05132 8796-15, hannover@betonmarketing.de	
BetonMarketing Ost GmbH Teltower Damm 155, 14167 Berlin-Zehlendorf, Tel.: 030 3087778-0, Fax: 030 3087778-8, mailbox@bmo-berlin.de	
BetonMarketing Süd GmbH Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, Fax: 0711 32732-202, info@betonmarketing.de	
BetonMarketing West GmbH Annastraße 3, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, Fax: 02521 8730-29, bmwest@betonmarketing.de	
Herausgeber: Verein Deutscher Zementwerke e.V. , Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf	www.vdz-online.de
Verfasser: Dipl.-Ing. Michael J. Dickamp, Dr.-Ing. Karsten Rendchen	