

■ 5 Baustoffliche und konstruktive Anforderungen aus den Expositionsklassen

5.1 Baustoffliche Anforderungen

Aufbauend auf der Klasseneinteilung werden für die verschiedenen Expositionsklassen Anforderungen an die Zusammensetzung des Betons festgelegt. Die Tafeln 7 und 8 enthalten die Grenzwerte der Betonzusammensetzung, die der Betonhersteller bei Betonen nach Eigenschaften auf der Grundlage der ihm vorgegebenen Expositionsklassen zu berücksichtigen hat. Bei Betonen nach Zusammensetzung ist hierfür der Verfasser der Festlegung verantwortlich. Im Wesentlichen sind nachfolgende Anforderungen an die Grenzwerte der Betonzusammensetzung zu erfüllen:

- maximaler Wasserzementwert (max w/z bzw. max (w/z)_{eq})
- Mindestzementgehalt (min z), mit und ohne Anrechnung von Betonzusatzstoffen
- Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons (min f_{ck})
- ggf. Mindestluftgehalt
- ggf. Eignung der Gesteinskörnung (bei Frost- und Frost-Taumittleinwirkung)

Tafel 9: Definitionen zur Betondeckung

Begriff	Definition
Betondeckung	- Abstand zwischen Betonoberfläche und Außenkante Stahl
Aufgabe	- Sicherung des Verbunds zwischen Stahl und Beton - Schutz der Bewehrung vor Korrosion - Schutz der Bewehrung gegen Brandeinwirkung
Anforderungen	- ausreichende Dicke und Dichte der Betondeckung - Einhaltung der Maße der Betondeckung für Normalbeton

Tafel 10: Definitionen von Angaben und Anforderungen zur Betondeckung

Formelzeichen		Definition	Aufgabe
(alt) aus DIN 1045-1	(neu) aus EC2		
c _{nom}	c _{nom}	Nennmaß der Betondeckung	maßgebendes c _{nom} ergibt das Verlegemaß c _v und somit das Maß für die Abstandhalter
c _{min}	c _{min}	Mindestmaß der Betondeckung	am Bauteil nachweisbares Maß für den jeweiligen Stab
Δc	Δc _{dev}	Vorhaltemaß der Betondeckung	Vorhaltemaß der Betondeckung zur Gewährleistung von c _{min} im erhärteten Bauteil, ist immer auf der Bewehrungszeichnung anzugeben Δc _{dev} = 1,0 cm für Expositionsklasse XC1 Δc _{dev} = 1,5 cm für Expositionsklasse XC2, XC3, XC4, XD, XS
c _v	c _v (EC2/NA)	Verlegemaß der Bewehrung	tatsächliche Überdeckung zwischen Betonoberfläche und Außenkante des jeweiligen Stahls (Längs-, Querstab oder Bügel)

Bei mehreren für ein Bauteil zutreffenden Expositionsklassen sind die jeweils schärfsten Anforderungen an die Betoneigenschaften maßgebend, so etwa der niedrigste geforderte w/z-Wert zusammen mit dem höchsten Mindestzementgehalt. Fallweise kommen besondere Anforderungen an Ausgangsstoffe, Betonoberfläche oder Luftgehalt des Frischbetons hinzu.

Für ein bewehrtes, tausalzbeanspruchtes Außenbauteil (z. B. Treppenpodest im Freien) bedeutet dies beispielsweise, dass entsprechend den hierbei zutreffenden Expositionsklassen XC4, XF4 und XD3 der Grenzwert für den äquivalenten w/z-Wert (w/z)_{eq} = 0,45 beträgt, ein Mindestzementgehalt von z = 320 kg/m³ sowie eine Mindestdruckfestigkeitsklasse C30/37 als Luftporenbeton einzuhalten sind.

Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit sind für die einzelnen Expositionsklassen auch Regeln für die Verwendbarkeit von Zementen und Gesteinskörnungen zu beachten. Einzelheiten enthält [2] bzw. der Bauteilkatalog [10]. Für massige Bauteile (kleinste Bauteilabmessung ≥ 80 cm) gelten weitergehende Anforderungen nach der DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ [19], vgl. auch Zement-Merkblatt „Massige Bauteile aus Beton“ B 11. Für (Infrastruktur-)Bauwerke im Geltungsbereich der ZTV-ING [21], der ZTV Beton-Stb 07 [22] und der ZTV-W LB 215 [23] gelten zum Teil abweichende Regelungen, sowohl im Hinblick auf die Einstufung in Expositionsklassen als auch auf die resultierenden Anforderungen an den Beton und seine Ausgangsstoffe. Auf diese besonderen Regelungen wird in diesem Merkblatt nicht eingegangen, hinsichtlich einer dauerhaften Bemessung sind ergänzende Regelwerke für den jeweiligen Anwendungsfall jedoch unbedingt zu beachten.

5.2 Anforderungen an die Betondeckung

Wie bereits dargestellt, handelt es sich bei den Expositionsklassen XC (Karbonatisierung), XD (Chloride aus Taumitteln) und XS (Chloride aus Meerwasser) um Einwirkungen auf die Bewehrung, welche die Dauerhaftigkeit des Betons nicht unmittelbar beeinträchtigen. Der Beton hat bei diesen Expositionsklassen eine Schutzfunktion für die Bewehrung zu erfüllen. Um dies zu gewährleisten, muss der Beton eine ausreichende Dichtigkeit aufweisen. Auch die Mindestdicke der Betondeckung richtet sich entsprechend DIN EN 1992-1-1 [4] unter anderem nach diesen Expositionsklassen und wird um die nationalen Regelungen in DIN EN 1992-1-1/NA [5] ergänzt.

Tafel 11: Definitionen zur Berechnung des Mindestmaßes der Betondeckung

Formelzeichen aus EC2	Definition	Aufgabe
c _{min,b}	Mindestbetondeckung Verbund	Verbundssicherung („bond“) φ _s bei Stabstahl
c _{min,dur}	Mindestbetondeckung Dauerhaftigkeit	Dauerhaftigkeit („durability“)
Δc _{dur,γ}	additives Sicherheitselement	in Deutschland (XD1, XS1: 10 mm), (XD2, XS2: 5 mm)
Δc _{dur,st}	Betondeckungsreduzierung	bei nichtrostenden Stählen („stainless rebars“)
Δc _{dur,add}	Betondeckungsreduzierung	Δc _{dur,add} = 0
φ _s	Stabdurchmesser	Angabe des Stabdurchmessers oder Stabbündels φ _n = Vergleichs- φ-Stabbündel

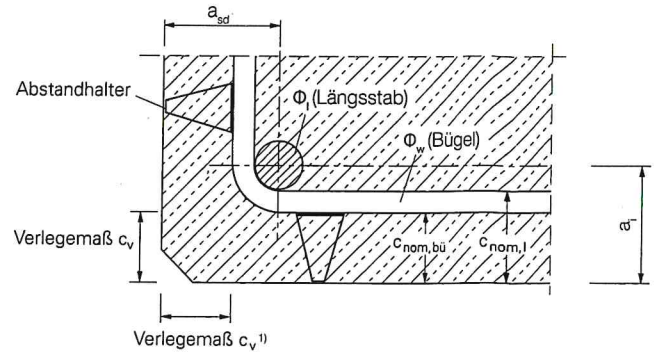
Die grundlegenden Aufgaben der Betondeckung sind in Tafel 9 dargestellt. Daraus wird deutlich, dass neben reinen Dauerhaftigkeitsforderungen der Verbundzone von Stahl und Beton weitere wichtige Aufgaben zukommen.

Bei der Festlegung der Betondeckung wird unterschieden zwischen dem Nennmaß c_{nom} , dem Mindestmaß c_{min} und dem Vorhaltemaß Δc_{dev} der Betondeckung sowie dem Verlegemaß c_v der Bewehrung. Die Berechnung der erforderlichen Betondeckung nach dem EC2 setzt sich aus mehreren Einzelkriterien zusammen. Als Hilfe sind in Tafel 10 die aktuellen Formelzeichen den alten aus der DIN 1045-1 gegenübergestellt. In Tafel 11 finden sich die Einzelkriterien zur aktuellen Berechnung von c_{min} .

Grundsätzlich gilt weiterhin der bekannte Zusammenhang, dass für jeden Bewehrungsstab das Nennmaß der Betondeckung festzulegen ist, das sich aus Mindestmaß und Vorhaltemaß berechnet.

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad \text{Gl. 1}$$

Am erhärteten Bauteil ist die Mindestbetondeckung c_{min} einzuhalten, die gewissermaßen das am fertigen Bauteil nachmessbare Kontrollmaß darstellt. Die Größe von c_{min} setzt sich grundsätzlich aus drei Einzelanforderungen zusammen. Einerseits aus dem Verbund zwischen Stahl und Beton, der bei einer zu geringen Betondeckung infolge unvollständiger Lastumlagerung zwischen Stahl und Beton nicht vollständig möglich ist. Andererseits aus der Dauerhaftigkeit, die durch eine ausreichend dichte Betonmatrix zwischen Stahl und Umgebungsbedingungen gewährleistet werden soll. Der jeweils höhere Wert aus den Einzelbedingungen ist maßgebend und darf unter Ausnutzung positiv wirkender Maßnahmen reduziert werden.



¹⁾ Für die genaue Berechnung des Verlegemaßes ist unter den einzelnen Nennmaßen für Stäbe ($c_{nom, st}$) und Bügel ($c_{nom, bü}$) und unter Berücksichtigung von anderen Bewehrungsebenen das jeweils maßgebende Verlegemaß c_v für die jeweilige Bewehrungslage zu bestimmen.

Bild 2: Grafische Darstellung von Nennmaß und Verlegemaß der Betondeckung

$$c_{min} = \{c_{min, b}; c_{min, dur} + \Delta c_{dur, \gamma} - \Delta c_{dur, st} - \Delta c_{dur, add}; 10 \text{ mm}\} \quad \text{Gl. 2}$$

Zu beachten ist jedoch, dass neben dem Dauerhaftigkeitskriterium c_{min} auch das Verbundkriterium eingehalten wird ($c_{min} \geq c_{min, b}$).

Zur Erhaltung des bisherigen Sicherheitsniveaus und unter Beachtung der bisherigen guten Erfahrungen in der Betonherstellung und der Bauausführung ist entsprechend den Gegebenheiten in der Bundesrepublik Deutschland die Anforderungsklasse S3 nach EC2 [4] festgelegt worden. Dieses Qualitätsniveau ist in Deutschland für die Betonzusammensetzung nach DIN EN 206-1, DIN 1045-2 gegeben, Festigkeit und Dichtheit des Betons im oberflächennahen Bereich stellt die

Tafel 12: Mindestbetondeckung $c_{min, dur}$ Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Betonstahl [4]

Anforderungsklasse	Dauerhaftigkeitsanforderung für $c_{min, dur}$ [mm]						
	Expositionsklasse nach Tabelle 4.1 aus [4]						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Tafel 13: Additives Sicherheitselement $\Delta c_{dur, \gamma}$ für Betonstahl [5]

Anforderungsklasse	Dauerhaftigkeitsanforderung für $c_{min, dur}$ [mm]						
	Expositionsklasse nach Tabelle 4.1 aus [5]						
	(X0)	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S3 $\rightarrow c_{min, dur}$	(10)	10	20	25	30	35	40
$\Delta c_{dur, \gamma}$			0		+10	+5	0

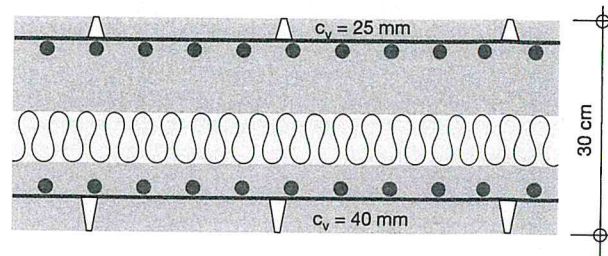
Tafel 14: Additives Sicherheitselement $\Delta c_{dur, \gamma}$ für Spannglieder [5]

Anforderungsklasse	Dauerhaftigkeitsanforderung für $c_{min, dur}$ [mm]						
	Expositionsklasse nach Tabelle 4.1 aus [5]						
	(X0)	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S3 $\rightarrow c_{min, dur}$	(10)	20	30	35	40	45	50
$\Delta c_{dur, \gamma}$			0		+10	+5	0

Tafel 15: Maßgebende Größen zur Bestimmung des Verlegemaßes c_v

Verlegemaß c_v	$\left\{ \begin{array}{l} c_{nom,w} \\ c_{nom,l} - \phi_w \\ a_i - \phi_i/2 - \phi_w \\ a_{sd} - \phi_i/2 - \phi_w \end{array} \right.$	$c_{nom,w}$	DIN EN 1992-1-1
		$c_{nom,l} - \phi_w$	
		$a_i - \phi_i/2 - \phi_w$	DIN EN 1992-1-2 (Brandschutz)
		$a_{sd} - \phi_i/2 - \phi_w$	
a_i		Betondeckung im Brandfall von unten (eng. „immediate“)	DIN EN 1992-1-2
a_{sd}		Betondeckung im Brandfall von der Seite (eng. „sideways“)	DIN EN 1992-1-2

Innenseite: XC1, WO



Außenseite: XC4, XF1, WF

Bild 3: Ort betonwand mit Kerndämmung C25/30, Längs- und Querbewehrung ϕ 14 mm (ohne Anforderungen an den Brandschutz)

Nachbehandlung nach DIN 1045-3 bzw. DIN EN 13670 sicher. In der Summe entsprechen diese nationalen Erfahrungen der Anforderungsklasse S3 und gewährleisten eine Nutzungsdauer von 50 Jahren.

In Tafel 12 sind die Mindestbetondeckungen $c_{min,dur}$ dargestellt. Um das bisherige deutsche Sicherheitsniveau zu erreichen, werden die nationalen Korrekturwerte $\Delta c_{dur,\gamma}$ genutzt, die in den Tafeln 13 und 14 abzulesen sind. Zu beachten ist, dass in anderen europäischen Ländern ebenfalls nationale Sonderwege beschränkt wurden. Einerseits liegt dies in der Wahl der Anforderungsklasse, andererseits in der Wahl mehrerer Anforderungsklassen in Abhängigkeit von der Exposition. In diesen Fällen sind unbedingt die jeweiligen nationalen Regelungen zu beachten.

Die Definition dieser Begrifflichkeiten ergibt sich aus den Tafeln 10, 11, 12 und Bild 2. Die sich für die Expositionsklassen XC, XD und XS ergebenden Mindest- und Nennmaße der Betondeckung können Tafel 16 entnommen werden. Abweichend von den Werten aus Tafel 16 ist es in einigen Fällen erforderlich, eine Erhöhung der Betondeckung vorzusehen, während in anderen Fällen eine Verminderung zulässig ist. Genauere Informationen

dazu können der Tafel 17 entnommen werden. Da die korrosiven Einwirkungen, die von chloridhaltigem Wasser ausgehen, ähnlich sind, gleich ob es sich um Chloride aus Taumitteln (XD) oder aus Meerwasser (XS) handelt, ergeben sich auch die gleichen Anforderungen an die Betonzusammensetzung. Diese können Tafel 7 entnommen werden. Kriterien und Beispiele zur Einstufung von Bauteilen in die Expositionsklassen XC, XD und XS finden sich in Tafel 3. Bei der Planung von Schwimmbecken wird oft fälschlicherweise gechlortes Wasser (Wasseraufbereitung) mit chloridhaltigem Wasser gleichgesetzt. Gechlortes Wasser erfordert aber in der Regel keine Einstufung in eine Expositionsklasse XS oder XD [17]. Für Betonbauteile im Luftraum über gechlorten Schwimmbecken kann allerdings eine Einstufung nach XD1 und XA1 sinnvoll sein [18].

5.3 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 haarfeiner Poren (Kapillarporen). Wenn Wasser in den Poren des Betons bei einem Frostangriff ganz oder teilweise gefriert, kann das entstehende Eis einen Druck auf die Porenwände

Tafel 16: Betondeckung der Bewehrung für die indikative Mindestfestigkeitsklasse¹⁾ des Betons

Expositionsklasse	Festigkeitsklasse f_{ck}	Stabdurchmesser ²⁾ ϕ bzw. ϕ_n [mm]	Mindestmaß c_{min} [mm]	Vorhaltemaß Δc_{dev} [mm]	Nennmaß c_{nom} [mm]
XC1	$\geq C16/20$	bis 10	$c_{min,dur} = 10$	10	20
		12 - 14	$c_{min,b} = 12 - 14$	10	25
		16 - 20	$c_{min,b} = 16 - 20$	10	30
		25	$c_{min,b} = 25$	10	35
		28	$c_{min,b} = 28$	10	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10	45
XC2 XC3	$\geq C16/20$ $\geq C20/25$	bis 20	$c_{min,dur} = 20$	15	35
		25	$c_{min,b} = 25$	10 ³⁾	35
		28	$c_{min,b} = 28$	10 ³⁾	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10 ³⁾	45
XC4	$\geq C25/30$	bis 25	$c_{min,dur} = 25$	15	40
		28	$c_{min,b} = 28$	10 ³⁾	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10 ³⁾	45
XD1, XS1	$\geq C30/37$ ⁵⁾	bis 32	$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma}$ $= 40$	15	55
XD2, XS2	$\geq C35/45$ ⁵⁾				
XD3 ⁴⁾ , XS3	$\geq C35/45$ ⁵⁾				

¹⁾ Bei mehreren zutreffenden Expositionsklassen für ein Bauteil ist jeweils die Expositionsklasse mit der höchsten Anforderung maßgebend (indikative Mindestfestigkeitsklasse). Alle Angaben für Normalbeton bis max. Größtkorn 32 mm und ohne Berücksichtigung von Vorspannbewehrung. Ggf. zusätzliche Vergrößerung bzw. Verminderung der Betondeckung (siehe unten). Der Tafel liegt die Anforderungsklasse S3 für Deutschland zugrunde.

²⁾ Bei Stabbindeln ist anstelle ϕ , der Vergleichsdurchmesser ϕ_n , maßgebend.

³⁾ Da Verbundsicherung maßgeblich, hier nur mit $\Delta c_{dev} \geq 10$ mm nach DIN EN 1992-1-1, 4.4.1.2 (3)

⁴⁾ Für XD3 sind ggf. zusätzlich besondere Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Bewehrung notwendig.

⁵⁾ Bei Luftporenbeton, z. B. wegen gleichzeitiger Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger.

Tafel 17: Erforderliche Vergrößerungen bzw. zulässige Verminderungen der Betondeckung

Vergrößerung der Betondeckung erforderlich bei:

■ **Bauteilen aus gefügedichtem Leichtbeton**

Für Dauerhaftigkeit keine Erhöhung der Betonüberdeckung $c_{min,dur}$, sofern diese um mindestens 5 mm größer ist als der Durchmesser des porigen Größtkorns. Zur Sicherstellung des Verbundes ist die Mindestbetondeckung $c_{min,b}$ für die Verbundbedingungen um + 5 mm zu erhöhen.

$c_{min} \geq$ (Größtkorn der leichten Gesteinskörnung) + 5 mm, außer bei Expositionsklasse XC1

■ **Verschleißbeanspruchungen**

Alternativ zu zusätzlichen Anforderungen an die Gesteinskörnung besteht die Möglichkeit die Mindestbetondeckung der Bewehrung zu vergrößern (Opferbeton), $c_{min} + \Delta c_{Opfer}$

Eigenschaften der Gesteinskörnung im Beton	Expositionsklasse	Vergrößerung Δc_{Opfer} [mm]
normale Gesteinskörnung mit verminderten Anforderungen	XM1	+5
	XM2	+10
keine Verwendung von Hartstoffen	XM3	+15

■ **Betonieren gegen unebene Flächen**

Vorhaltemaß Δc_{dev} , erhöhen

- generell um das Differenzmaß der Unebenheit
- mindestens aber ≥ 20 mm
- bei unebenem Baugrund ≥ 50 mm

■ **Nachträglicher Strukturierung der Oberflächen**

Vorhaltemaß Δc_{dev} mindestens um das Maß des Materialabtrags von der geschalteten Seite her erhöhen.

■ **Höheren Betondruckfestigkeiten**

Bei Betonfestigkeit ≥ 2 Festigkeitsklassen höher als die indikative Mindestbetonfestigkeit nach Expositionsklassen notwendig, Verminderung von c_{min} um 5 mm zulässig (außer bei XC 1)

■ **Halbfertigteilen**

Bei Bauteilen mit kraftschlüssiger Verbindung Fertigteil/Ortbeton $c_{min} \geq 5$ mm im Fertigteil und $c_{min} \geq 10$ mm im Ortbeton für die der Verzahnungsfuge zugewandten Ränder

Bei Nutzung der Bewehrung im Bauzustand gelten jedoch die Tafelwerte für c_{min}

■ **Qualitätskontrolle**

Bei entsprechender Qualitätskontrolle bei Planung, Entwurf, Herstellung und Bauausführung (entsprechend DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“) sind Abminderungen zulässig in der Regel um 5 mm

bewirken, der bei nicht sachgerecht zusammengesetztem Beton ggf. zur Zerstörung des Betongefüges führt. Bei zusätzlichem Einwirken von Taumitteln kann diese Beanspruchung wesentlich verstärkt werden. Die Frosteinwirkungen werden durch die Expositionsklassen XF erfasst. Anforderungen an die Betonzusammensetzung für diese Beanspruchungen sind in Tafel 8 festgelegt. Beispiele für gefährdete Betonflächen und deren Einstufung enthält Tafel 2.

Wenn ein Mindestgehalt an wirksamen Luftporen gemäß Tafel 8, Fußnote 6 im Beton (Luftporenbeton) 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 [24] zu Beginn jedes Betonierabschnitts sowie zusätzlich in Zweifelsfällen. Für sehr weiche bis fließfähige Betone (Ausbreitmaßklasse = F4) kann es sinnvoll sein, den Mindestluftgehalt nach Tafel 8, Fußnote 6 um 1 Vol.-% zu erhöhen. Entsprechende Hinweise gibt z. B. das Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV) [25].

Für Betone der Expositionsklassen XF müssen die verwendeten Gesteinskörnungen über die Regelanforderungen hinaus zusätzlich den Widerstand gegen Frost (F_4 , F_2) bzw. Frost und Taumittel (MS_{25} , MS_{10}) entsprechend DIN EN 12620 [26] erfüllen.

LP-Betone der Expositionsklasse XF4 sollten erst dann einer Taumittleinwirkung ausgesetzt werden, wenn der Beton ausreichend erhärtet ist.

5.4 Betonangriff durch aggressive chemische Umgebung

Beton kann durch bestimmte Stoffe einem chemischen Angriff unterliegen. Die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen chemische Angriffe setzt eine hohe Dichtigkeit und ggf. eine entsprechende Auswahl der Ausgangsstoffe voraus. Das Angriffsvermögen von weichen Wässern ist bei Betonen gering. Beton angreifend wirken Wässer und Böden, die z. B. freie Säuren, Sulfate, bestimmte Magnesium- oder Ammoniumsalze oder bestimmte organische Verbindungen in hinreichend hoher Konzentration enthalten. Ein chemischer Angriff ist in der Regel nur in Verbindung mit Feuchtigkeit möglich. Auch natürliche Wässer können Beton angreifende Stoffe enthalten (z. B. Moorwasser). Solche Wässer lassen sich oft an abgeschiedenen Salzen, dunkler Färbung, fauligem Geruch oder aufsteigenden Gasblasen erkennen.

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. Gase können in trockenen Beton 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.

Hiermit verbunden ist eine Volumenvergrößerung, die eine Schädigung des Betongefüges bewirken kann. Lösende Angriffe, die Kalkverbindungen aus dem Zementstein herauslösen, können durch Säuren, austauschfähige Salze sowie durch pflanzliche oder tierische Fette und Öle verursacht werden. Dabei wird die Oberfläche des Betons meistens langsam abgetragen.

Untersuchungen zur Beurteilung des chemischen Angriffs von Wässern und/oder Böden sowie nutzungsbedingten chemischen Einwirkungen sollten bereits frühzeitig bei der Planung einer Baumaßnahme erfolgen, um die eventuell notwendigen betontechnologischen und konstruktiven Maßnahmen rechtzeitig darauf abstimmen zu können. Tafel 18 enthält die Grenzwerte für die Beurteilung chemisch angreifender Grundwässer und Böden bei natürlicher Zusammensetzung und der Voraussetzung einer höchstens sehr geringen Fließgeschwindigkeit sowie bei mäßiger Temperatur. Aufgrund entsprechender Grundwasser- bzw. Bodenanalysen kann eine Einstufung in die Expositionsklassen XA1, XA2 oder XA3 erfolgen. Die Anforderungen an die Betonzusammensetzung ergeben sich dann nach Tafel 8. Da sich die einschlägigen Normen DIN EN 206-1 [1] bzw. DIN 4030-1 [27] fast ausschließlich auf natürliche Umgebungsbedingungen beziehen, muss das Einwirken von chemischen Stoffen, die in diesen Normen nicht genannt werden, im Einzelfall bewertet werden. Hilfestellung gibt z. B. [28].

Betontechnologisch vorteilhaft sind bei chemischem Angriff Gesteinskörnungsgemische, die bei möglichst geringem Wasseranspruch eine hohe Packungsdichte ermöglichen. Für eine gute Verarbeitung und ein geschlossenes Gefüge des Betons ist ein ausreichender Mehlkorngelhalt erforderlich.

Werden Betone aufgrund erhöhter Sulfatkonzentrationen in die Expositionsklassen XA2 oder XA3 eingestuft, ist die gemessene Sulfatkonzentration stets mit anzugeben, da in Abhängigkeit der Sulfatkonzentration ggf. SR-Zemente oder Zement-Flugasche-Gemische eingesetzt werden müssen. Die Betonhersteller benötigen daher den Messwert der Sulfatkonzentration, um eine geeignete Betonzusammensetzung festzulegen. Für angreifen-

de Wässer mit pH-Wert < 5,5 oder mit > 40 mg/l CO₂ darf die Selbstheilung der Risse bei der Planung von WU-Bauwerken nicht angesetzt werden.

Beton für die Expositionsklasse 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). Für spezielle Bauwerke, z. B. landwirtschaftliche Silos, gibt es zum Teil abweichende Regelungen.

5.5 Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung

Verschleißbeanspruchung kann durch schleifenden und rollenden Verkehr (z. B. auf Fahrbahnen, Hallenböden), durch rutschendes Schüttgut (z. B. in Silos), durch regelmäßige, stoßartige Bewegung von schweren Gegenständen (z. B. in Werkstätten, auf Verladerrampen) oder durch stark strömendes und Feststoffe führendes Wasser (z. B. in Tosbecken, Geschieberinnen) hervorgerufen werden. Diese Beanspruchungen können bei Betonen ohne ausreichenden Verschleißwiderstand zu einem erhöhten gleichmäßigen Oberflächenabtrag oder auch zu örtlich begrenztem Materialverlust an der Betonoberfläche führen.

Insbesondere feinkörnige Bestandteile können in Abhängigkeit von der Reibung und Rauigkeit der Kontaktflächen bei schleifender Beanspruchung herausgerissen werden.

Für tragende und aussteifende Betonböden wird die Verschleißbeanspruchung in DIN 1045-2 durch die Expositionsklassen XM geregelt (siehe Tafel 8). Je nach Intensität des zu erwartenden Verschleißes ergeben sich die Klassen XM1, XM2 oder XM3.

Für vergleichbare Beanspruchungen der Oberfläche von Betonen, die nicht im Geltungsbereich der Norm liegen, kann eine Anlehnung an diese betontechnologischen Anforderungen für die Klassen XM ebenfalls sinnvoll sein.

Tafel 18: Grenzwerte für die Expositionsklassen bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser ^{1), 2)} [1], [2], [27]

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 ≥ 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...1 000	> 1 000...3 000	> 3 000 bis zur Sättigung
Sulfat ⁴⁾ (SO ₄ ²⁻) [mg/l]	200...600	> 600...3 000	> 3 000 und ≤ 6 000
Boden			
Sulfat ⁵⁾ (SO ₄ ²⁻) [mg/kg] insgesamt	2 000...3 000 ⁶⁾	> 3 000 ⁶⁾ ...12 000	> 12 000 und ≤ 24 000
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 mindestens 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⁾ Sulfatgehalte oberhalb 600 mg/l sind im Rahmen der Festlegung des Betons anzugeben. Bei chemischen Angriffen durch Sulfat (ausgenommen bei Meerwasser) für Expositionsklasse XA2 und XA3 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) erforderlich. Für SO₄²⁻ ≤ 1 500 mg/l anstelle SR-Zement eine Mischung aus Zement und Flugasche zulässig.

⁵⁾ Tonböden mit einer Durchlässigkeit ≤ 10⁻⁵ m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.

⁶⁾ Falls die Gefahr der Anhäufung von Sulfationen im Boden – 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.

Tafel 19: Alkaliempfindlichkeitsklassen für Gesteinskörnungen [9], [34]

Klasse ¹⁾	Gesteinskörnung	Einstufung
E I-O	Opalsandstein einschließlich Kieselkreide ²⁾³⁾	unbedenklich
E II-O		bedingt brauchbar
E III-O		bedenklich
E I-OF	Opalsandstein einschließlich Kieselkreide und Flint ²⁾³⁾	unbedenklich
E II-OF		bedingt brauchbar
E III-OF		bedenklich
E I-S	Gesteinskörnungen $d > 2$ mm	unbedenklich
E III-S	<ul style="list-style-type: none"> - gebrochene Grauwacke, gebrochener Quarzporphyr (Rhyolith), gebrochener Oberrhein-Kies - Kies mit mehr als 10 M.-% der vorgenannten Körnungen - ungebrochene Gesteinskörnungen aus den Flussläufen und anderen Ablagerungsräumen in den Gebieten der Saale, Elbe, Mulde und Elster und im angrenzenden Bereich sowie aus diesen hergestellte gebrochene Gesteinskörnungen (Kiessplitte) - rezyklierte Gesteinskörnungen außerhalb des in der Alkali-Richtlinie festgelegten eiszeitlichen Ablagerungsgebiets in Norddeutschland³⁾ 	bedenklich
E I	<p>Gesteinskörnungen $d > 2$ mm</p> <ul style="list-style-type: none"> - die nicht aus dem eiszeitlichen Ablagerungsgebiet in Norddeutschland stammen, - die keinen Opalsandstein und keine Kieselkreide enthalten, - die einen Gesamtflintanteil $w_f < 2$ M.-% oder einen Flintanteil mit einer Rohdichte > 2450 kg/m³ und einem reaktiven Flintanteil $w_r = 2,0$ M.-% aufweisen, - die nicht zu den bei E I-S bzw. E III-S genannten Gesteinskörnungen gehören. - außerdem liegen mit der Gesteinskörnung im Anwendungsbereich der Richtlinie baupraktische Erfahrungen vor und - es ist kein AKR-Schaden in Bauteilen der Feuchtigkeitsklassen WF oder WA aufgetreten. <p>Gesteinskörnungen ($D \leq 2$ mm) außerhalb des eiszeitlichen Ablagerungsgebiets in Norddeutschland</p>	unbedenklich

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

²⁾ Rezyklierte Gesteinskörnungen aus Beton von Bauwerken aus dem in der Alkali-Richtlinie festgelegten eiszeitlichen Ablagerungsgebiet in Norddeutschland sind in E III-O – E III-OF einzustufen.

³⁾ Bei rezyklierten Gesteinskörnungen, die von Beton aus der Produktion des Betonherstellers stammen und ohne vorherigen Gebrauch wieder aufbereitet werden, siehe 1. Berichterung zur DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 [34]

Durch Fahrzeuge hervorgerufene rollende Beanspruchung tritt sowohl bei harter als auch bei weicher Bereifung auf. Durch Bremsen, Lenkbewegungen oder durch Schlupf zwischen Reifen und Betonoberfläche entsteht eine schleifende und reibende Beanspruchung. Bei weicher, insbesondere profilierter Bereifung wirkt durch die Verformung ein zusätzlicher Saugeffekt, bei harten Rädern ggf. ein zusätzlicher stoßender Angriff auf die Betonoberfläche ein. Die Folgen können von einem langsamen Materialabtrag durch Lösen feinsten Feststoffpartikel aus der Betonoberfläche bis zu Störungen des Gefüges und dem Lockern oder Herausbrechen einzelner Gesteinskörner reichen. Die richtige Einstufung in die Expositionsklassen XM1 bis XM3 muss auf Grundlage der Art und Intensität der mechanischen Belastung erfolgen. Anhaltspunkte dazu liefern die Beispiele aus Tafel 4. Bei sehr starkem mechanischem Verschleiß (XM3) ist eine Oberflächenvergütung z. B. durch eine Hartstoffschicht oder -einstreuung mit Hartstoffen nach DIN 1100 [13] erforderlich (siehe auch DIN 18560-7 [29] und Zement-Merkblatt B 19 „Zementestriche“ [20]). Bei der Ausführung der Expositionsklasse XM3 kann es durch den geringen w/z-Wert zu Ausführungsproblemen bei der Hartstoffeinstreuung kommen. Im Weiteren ist eine Kombination der Expositionsklassen XM3 und XF4, obwohl normgemäß, wegen der Einarbeitung von Hartstoffen in den LP-Beton nicht zu empfehlen, da das LP-System Nachteilung beeinflusst wird. In einigen Fällen kann bei Verschleißbeanspruchung auch eine Erhöhung der Betondeckung sinnvoll sein. Angaben dazu sind in Tafel 17 aufgeführt.

Die XM-Anforderungen für Leichtbetone sind nicht ohne weitere Maßnahmen zu erfüllen.

Tafel 20: Expositionsklassen für hydrolysebeständige Bauteile in Trinkwasserbauwerken

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiel für die Zuordnung von Expositions-klassen (informativ)
X _{TWB}	Beton in Kontakt mit Wasser mit Wasserqualität gemäß Trinkwasserverordnung (Anforderungen an die Hygiene und Hydrolysebeständigkeit)	Trinkwasserbehälter, Trinkwasserspeicher

In Ergänzung der DIN 1045-2 wird in der Technischen Regel – Arbeitsblatt DVGW W 300-4 (A) Trinkwasserbehälter; Teil 4: Werkstoffe, Auskleidungs- und Beschichtungssysteme – Grundsätze und Qualitätssicherung auf der Baustelle Oktober 2014 die Expositionsklasse X_{TWB} eingeführt. Daraus ergeben sich folgende Grenzwerte der Zusammensetzung und Ausgangsstoffe.

- Wassorzementwert $(w/z)_{eq} \leq 0,50$
- Mindestdruckfestigkeitsklasse C30/37
- Mindestzementgehalt 320 kg/m³, bei Anrechnung von Zusatzstoffen 270 kg/m³
- Mehlkorngelalt ≤ 400 kg/m³ als Empfehlung
- Zemente nach DIN EN 197-1 (CEM I, CEM II, CEM III und Anforderung (na))
- Gesteinskörnung nach DIN EN 12620; es sind die ergänzenden Hinweise auf leichtgewichtige organische Bestandteile zu berücksichtigen
- Hinweise aus DVGW W 398 (M) sind zu berücksichtigen
- Zugabewasser nach DIN 1008 (ausschließlich Trinkwasser)
- Zusatzmittel nach DIN EN 934-2, das den Wirkgruppen Betonverflüssiger, Fließmittel oder Verzögerer zugeordnet ist;

Kombinationsprodukte dürfen nicht verwendet werden (Einschränkungen ergeben sich aus DVGW W 347 (A))

- Zusatzstoffe nach DIN EN 450-1, DIN EN 13263-1 Produkte mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (z. B. Fasern)
- Für die verwendeten Produkte sind die notwendigen Nachweise vorzulegen (z. B. Leistungserklärung des Herstellers nach Bauproduktenverordnung, DVGW W 347 (A), DVGW W 270 (A) nur bei organischen Bestandteilen).

Damit werden die Anforderungen an eine Wasserundurchlässigkeit über die Festlegungen aus der WU-Richtlinie hinaus verschärft und die Hygiene und Hydrolysebeständigkeit baustofflich sichergestellt.

Instandsetzung

Zusätzlich sind weitere Festlegungen zu gesonderten Expositionsklassen im Bereich der Instandhaltung und Instandsetzung von Betonbauwerken aus der Technischen Regel Instandhaltung von Betonbauwerken in Verbindung mit der Instandsetzungsrichtlinie [33, 36] und dem Regelwerksbereich des Wasserbaus, ZTV-W LB 219 [37] zu treffen.

5.6 Schädigende Alkalireaktion durch bedenkliche Gesteinskörnungen

In der Natur kommen unterschiedliche Gesteinskörnungen vor, die aufgrund ihrer Zusammensetzung und tektonischen Beanspruchung alkalireaktive Kieselsäuren enthalten können. Diese können Auslöser einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) sein. Unter AKR versteht man die chemische Reaktion von amorphen, kryptokristallinen oder gittergestörten SiO₂-Mineralen aus der Gesteinskörnung und den in der Porenlösung enthaltenen Alkalihydroxiden (NaOH, KOH). Hierbei entsteht Alkali-Kieselsäure-Gel, welches unter Wasseraufnahme zu einer Volumenvergrößerung und entsprechenden Quelldrücken führt, die Schädigungen im Betongefüge zur Folge haben können.

Je nach Verteilung, Art und Größe der reaktiven Gesteinskörnungen können die Reaktionen unterschiedlich stark ausgeprägt sein. In Abhängigkeit von den Randbedingungen können Auftreten und Grad einer Schädigung auch zeitlich stark variieren. Mitunter führt eine AKR erst nach mehreren Jahren zu einem Schaden.

Darüber hinaus beeinflussen auch feuchte Umgebungsbedingungen, eine Alkalizufuhr von außen oder eine zusätzliche starke dynamische Belastung das Schädigungspotenzial durch eine AKR. Letzteres spielt allerdings bei den allermeisten Bauaufgaben keine Rolle und tritt höchstens bei hochbelasteten Straßen auf. Die dafür geltenden Regeln sind zurzeit allein dem Straßenbau zugeordnet. Im Nationalen Anhang des EC2 ist die Feuchtigkeitsklasse WS nicht vorgesehen.

Die maßgebenden Einflussfaktoren zur Festlegung der Feuchtigkeitsklassen sind in der linken Spalte der Tafel 5 zusammengefasst und bilden die Basis für die Definition der o.g. Feuchtigkeitsklassen nach DIN EN 1992-1-1 NA bzw. der Alkali-Richtlinie [9]. Gleichzeitig stellen die Angaben der zweiten Spalte eine wesentliche Entscheidungshilfe für den Planer dar, da die aufgeführten Beispiele und Umgebungsbedingungen in den meisten Fällen die eindeutige Zuordnung eines Bauteils zu einer Feuchtigkeitsklasse zulassen. Die Zuordnung von massigen Bauteilen, z. B. von Fundamenten mit einer Dicke von über 80 cm, in die Feuchtigkeitsklasse WF ist in der Tatsache geschuldet, dass massige Bauteile unabhängig von den Umgebungsbedingungen auch nach langer Zeit nicht vollständig austrocknen.

In Tafel 5 wird in der Feuchtigkeitsklasse WA ergänzend ein Vorschlag zur Einstufung von kommunalen Verkehrsflächen vorgenommen. Der Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) hat, basierend auf einem Forschungsvorhaben für Industrielle

Tafel 21: Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton [9]

Alkaliempfindlichkeitsklasse ²⁾	Zementgehalt [kg/m ³]	Feuchtigkeitsklasse ¹⁾ und zugehörige Maßnahmen		
		WO	WF	WA
E I; E I-S; E I-O – E I-OF	ohne Festlegung	3)	3)	3)
E II-O – E I-OF; E II-O – E II-OF; E II-O – E III-OF	≤ 330	3)	3)	(na)-Zement
E III-O – E I-OF; E III-O – E II-OF; E III-O – E III-OF		3)	(na)-Zement	Austausch der Gesteinskörnung
E I-O – E II-OF; E II-O – E II-OF; E III-O – E II-OF	> 330	3)	(na)-Zement	(na)-Zement
E I-O – E III-OF; E II-O – E III-OF; E III-O – E III-OF		3)	(na)-Zement	Austausch der Gesteinskörnung
E III-S	≤ 300	3)	3)	3)
	300 < z ≤ 350	3)	3)	(na)-Zement ⁴⁾
	> 350	3)	(na)-Zement ⁴⁾	Austausch der Gesteinskörnung ⁴⁾

¹⁾ Für die Zuordnung von Umgebungsbedingungen zu den Feuchtigkeitsklassen siehe Tafel 5.

²⁾ Für jede zu liefernde Korngruppe sind immer zwei gesonderte Einstufungen hinsichtlich Opalsandstein (O) allein und Opalsandstein gemeinsam mit Flint (OF) erforderlich.

³⁾ Keine Maßnahmen erforderlich.

⁴⁾ Alternativ gutachterliche Stellungnahme durch besonders fachkundige Person.

Gemeinschaftsforschung (IGF), einen Vorschlag zur Bewertung von Betonfahrbahnflächen im kommunalen Bereich erarbeitet. Darin wird vorgeschlagen, die Belastungsklasse für die Feuchtigkeitsklasse WA gemäß ARS für Bundesfernstraßen von Bk1,0 für kommunale Verkehrsflächen auf Bk10 zu erweitern. Voraussetzung dafür ist, dass langjährige Erfahrungen mit den Gesteinskörnungen unter diesen Einwirkungen vorliegen und keine Schäden aufgetreten sind. Weitere Hintergründe dieses Vorgehens sind, dass die dynamischen Belastungen und der Einsatz von Streusalz deutlich geringer im Vergleich zu Bundesautobahnen sind. Im Weiteren zeigten die untersuchten Flächen mit einer Liegezeit von mehr als 10 Jahren keine schädigende AKR [32].

Für die Betonzusammensetzung können sich je nach Feuchtigkeitsklasse und verwendeter Gesteinskörnung unterschiedliche Forderungen ergeben. Bei unbedenklichen Gesteinskörnungen (E I nach Alkali-Richtlinie [9], vgl. Tafel 21) sind in der Regel keine weitergehenden Anforderungen einzuhalten. Bei bedenklichen Gesteinskörnungen (E II oder E III) sieht die Alkali-Richtlinie unterschiedliche Maßnahmen vor, die von der Begrenzung des Zementgehalts über die Verwendung von Zementen mit höchstzulässigen Alkaligehalten (na)-Zemente bis hin zum Austausch der Gesteinskörnung reichen können. Die Anforderungen an die technischen Eigenschaften, niedrigwirksamer Alkaligehalt, sind in der DIN 1164-10 [30] geregelt und als gesonderte Leistung der Hersteller zu erklären.

■ Literatur

- [1] DIN EN 206-1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Ausgabe 2001-07 mit DIN EN 206-1/A1: 2004-10 und DIN EN 206-1/A2: 2005-09
- [2] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zur DIN EN 206-1; Ausgabe 2008-08
- [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 EN 1992-1-1 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Ausgabe 2011-01
- [5] DIN EN 1992-1-1/NA: Nationaler Anhang: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Ausgabe 2013-04; + A1:2015-12
- [6] Zement-Merkblatt B 13 „Leichtbeton“; Verein Deutscher Zementwerke e. V. (Hrsg.): Zement-Merkblätter Betontechnik, www.beton.org, 2014-06
- [7] DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton, Ausgabe 2012-11
- [8] 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
- [9] DAfStb-Richtlinie – Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkali-reaktion im Beton (Alkali-Richtlinie), 2013-10
- [10] Bauteilkatalog: Schriftenreihe der Zement- und Betonindustrie, 9. Auflage 2016, Verlag Bau+Technik, Erkrath 2016
- [11] Auslegungen zur DIN 1045-1, auch zu Expositionsklassen bei speziellen Anwendungsfällen, können auch für die Anwendung der DIN EN 1992-1-1 weiter genutzt werden. Sie sind komplett unter <http://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/auslegungen-zu-din-normendes-nabau-68630>, Auslegungen DIN 1045-1, Fassung Juni 2012 und Auslegungen zu DIN EN 1992-1-1, Fassung November 2015, zu finden.
- [12] Erläuterungen zu Eurocode 2: Heft 600, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 2020-11
- [13] DIN 1100: Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche – Anforderungen und Prüfverfahren; Ausgabe 2004-05
- [14] DIN EN 13670: Ausführung von Tragwerken aus Beton, 2011-03
- [15] DIN 1045-3: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670; 2012-03
- [16] DIN 18331: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Betonarbeiten; Ausgabe 2019-09
- [17] Deutsche Gesellschaft für das Badewesen e. V.: Merkblatt Nr. 25.04: Schwimm- und Badebecken aus Stahlbeton. Ausgabe 01-2011, Bundesfachverband Öffentliche Bäder e. V., www.boeb.de
- [18] Freiman, T.; Müller, M.: Anforderungen an die Betontechnik und konstruktive Ausbildung von Schwimmbecken aus WU-Beton. Beton- und Stahlbetonbau 101 (2006), Heft 11, S. 842–857
- [19] DAfStb-Richtlinie – „Massige Bauteile aus Beton“; Ausgabe 2010-04
- [20] Zement-Merkblatt B 19 „Zementestrich“; Verein Deutscher Zementwerke e. V. (Hrsg.): Zement-Merkblätter Betontechnik, www.beton.org, 2015-07
- [21] ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) e. V., Köln, Ausgabe 2019-04
- [22] ZTV Beton-StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) e. V., Köln, Ausgabe 04-2013
- [23] ZTV-W LB215: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215) Ausgabe 2012, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt
- [24] DIN EN 12350-7: Prüfung von Frischbeton – Teil 7: Luftgehalte; Druckverfahren; Ausgabe 2019-09
- [25] Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) e. V., Köln, 2004
- [26] DIN EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton; Ausgabe 2008-07
- [27] DIN 4030-1: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte; Ausgabe 2008-06, DIN 4030/A1, Entwurf 2011-08
- [28] Stoffe, die chemisch auf Beton einwirken, Cementbulletin 63 (1995) Heft 11, Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie (TFB)

- [29] DIN 18560-7: Estriche im Bauwesen – Teil 7: Hochbeanspruchbare Estriche (Industriestriche); Ausgabe 2004-04
- [30] DIN 1164-10: Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Normalzement mit besonderen Eigenschaften; Ausgabe 2013-03
- [31] TL Beton-StB 07 – Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton sowie Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 04/2013 (BMVBS)
- [32] Eickschen, E.; Müller, C.: Alkali-Kieselsäure-Reaktion im kommunalen Straßenbau, beton, Verlag Bau+Technik, 04/2018
- [33] DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (Instandsetzungs-Richtlinie): 2001-10 + Berichtigung 3: 2014-09
- [34] DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620: 09/2010 + 1. Berichtigung: 09/2019
- [35] Zement-Merkblatt B 11 „Massige Bauteile aus Beton“, Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg.): Zement-Merkblätter Betontechnik, www.beton.org, 2019-11
- [36] Technische Regel – Instandhaltung von Betonbauwerken (TR Instandhaltung), DIBt: 05-2020
- [37] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für die Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219), Bundesanstalt für Wasserbau: 07-2019

Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

Herausgeber

InformationsZentrum Beton GmbH, Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf

www.beton.org

Kontakt und Beratung vor Ort

Büro Berlin, Kochstraße 6–7, 10969 Berlin, Tel.: 030 3087778-0, berlin@beton.org

Büro Hannover, Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde, Tel.: 05132 502099-0, hannover@beton.org

Büro Beckum, Neustraße 1, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, beckum@beton.org

Büro Ostfildern, Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, ostfildern@beton.org

Verfasser

Dipl.-Ing. René Oesterheld, Dipl.-Ing. (FH) André Weisner, InformationsZentrum Beton GmbH

Unsere Beratung erfolgt unentgeltlich. Auskünfte, Ratschläge und Hinweise geben wir nach bestem Wissen. Wir haften hierfür – auch für eine pflichtwidrige Unterlassung – nur bei grobem Verschulden, es sei denn, eine Beratung wird im Einzelfall vom Empfänger unter Hinweis auf besondere Bedeutung schriftlich erbeten und erteilt.

Nr. B 9 7.21

