

Die „Bemessung auf Dauerhaftigkeit“ nach den neuen Betonbaunormen

Die „Expositionsklassen“ der neuen Normen entsprechen nicht mehr den Ergebnissen der alten

Für die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit eines Betonbauwerks müssen nach den neuen Betonbaunormen „Expositionsklassen“ definiert werden. Sie haben eine zentrale Bedeutung, weil mit ihnen die chemischen und physikalischen Einwirkungen (E_d) beschrieben werden, denen ein Tragwerk als Ganzes, einzelne Bauteile, der Spannbeton oder der Beton selbst ausgesetzt sind, soweit sie bei den Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nicht direkt berücksichtigt werden (können). Gegen diese neue Bemessung der Dauerhaftigkeit wird häufig eingewendet, dass auch die „alten“ Normen, also DIN 1045 (Juli 1988), und DIN 4227-1 (Juli 1988) zu Bauwerken mit ausreichender Dauerhaftigkeit geführt hätten. Im folgenden Beitrag wird erläutert, warum dieser Standpunkt einer tiefer gehenden Überprüfung nicht standhalten kann.

Dr.-Ing. Hans-Ulrich Litzner



studierte von 1966 bis 1971 das Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen, war Assistent am dortigen Lehrstuhl für Baustatik, promovierte 1979 über die nichtlineare Berechnung von Stahlbetondruckgliedern; nach praktischer Tätigkeit im Ausland trat er 1980 in die Geschäftsstelle des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins

(DBV) ein, dessen Hauptgeschäftsführer er heute ist; 1990 bis 2002 war er als Obmann an der nationalen und europäischen Normung beteiligt. Derzeit wirkt er in den Führungsgremien nationaler und internationaler Vereinigungen, insbesondere des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton mit.

1 Einführung

In DIN 1055-100 [1], auf die in den neuen Betonbaunormen [2] bis [6] Bezug genommen wird, wurden bauartübergreifend „grundlegende Anforderungen“ an Tragwerke des Hoch- und Ingenieurbaus definiert. Sie unterscheiden sich vom Grundsatz her nicht von den entsprechenden Festlegungen in den „alten“ Normen DIN 1045 und DIN 4227, beide Ausgabe Juli 1988 [7], [8], und betreffen die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit.

Neu ist, dass [1] sehr deutliche Vorgaben für die Dauerhaftigkeit enthält. In den Abschnitten 4.1 und 4.2 von [1] heißt es hierzu unter anderem:

„4.1 Grundlegende Anforderungen

(...)

(2) Ein Tragwerk muss so bemessen werden, dass seine Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit während der vorgesehenen Nutzungsdauer den in 4.1 (1) vorgegebenen Bedingungen genügen.

(...)

4.2 Dauerhaftigkeit

(1) Das Tragwerk ist so zu bemessen, dass zeitabhängige Eigenschaftsveränderungen die Dauerhaftigkeit und das Verhalten des Tragwerks während der geplanten Nutzungsdauer nicht unvorhergesehen beeinträchtigen. Dabei sind die Umgebungsbedingungen und die geplanten Instandhaltungsmaßnahmen zu berücksichtigen.“

Hingewiesen sei besonders auf den Begriff „vorgesehene Nutzungsdauer“, der in Anhang F zu DIN 1045-2 [3] für den Hochbau mit 50 Jahren angegeben ist, sowie auf die in [1] geforderten „geplanten Instandhaltungsmaßnahmen“. Der zuletzt genannte Begriff bedeutet konkret, dass eine auf das Bauwerk abgestimmte Instandhaltung Bestandteil des neuen Normenkonzeptes ist.

Die Diskussion über die neuen Normen innerhalb der Fachöffentlichkeit konzentriert sich, wenn

man sich auf [2] beschränkt, schwerpunktmäßig auf zwei Kritikpunkte:

- Auf den Umfang der rechnerischen Nachweise, der deutlich über dem nach [7], [8] liegt.
- Auf die Regelungen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit, bei denen die Definition von „Expositionsklassen“ von zentraler Bedeutung ist.

Von den Lesern dieser Zeitschrift wird nun häufig der Einwand geäußert, dass auch die „alten“ Normen [7], [8] bei korrekter Anwendung zu Bauwerken mit ausreichender Dauerhaftigkeit geführt hätten. Hiergegen lassen sich jedoch folgende Argumente anführen:

Unstrittig ist zunächst, dass Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Betontragwerken unmittelbar miteinander verknüpft sind. Ein stark korrodierter Bewehrungsstab (**Abb. 1**) wirkt sich nachteilig auf alle drei „grundlegenden Anforderungen“ im Sinne von [1] aus.

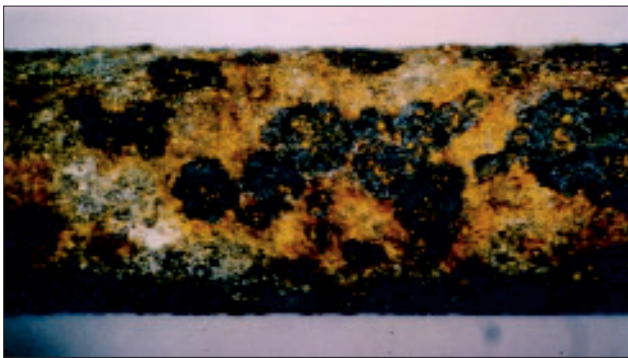


Abb. 1: Bewehrungskorrosion infolge Chloridangriffs (Expositionsklasse XS3)

Darüber hinaus bleibt objektiv festzustellen, dass die „alten“ Normen seit ihrer Erstausgabe im Jahre 1972 bzw. 1978 im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit mehrfach „nachgerüstet“ wurden. Die Veröffentlichungen [9], [10] seien stellvertretend für andere angeführt. Auch bei der seinerzeitigen Überarbeitung der noch gültigen Ausgaben Juli 1988 von DIN 1045 bzw. DIN 4227 [7], [8] betrafen die zentralen Punkte die *Dauerhaftigkeit*: Sie bestanden in einem neuen Rissbreitenkonzept sowie in der Forderung nach einer Mindestbewehrung zur Vermeidung breiter Einzelrisse. Die Schlussfolgerung an dieser Stelle ist also die, dass technische Normen periodisch im Hinblick auf den Stand der Technik zu überprüfen und gegebenenfalls zu aktualisieren sind.

Hieraus lässt sich eine weitere Feststellung ableiten: Die Definition der Umweltbedingungen in Tabelle 10 von DIN 1045 [7] beschreibt die schädigenden Wirkungen auf den Beton, Betonstahl und

Spannstahl nur unvollständig. Der Anwender kann nicht erkennen, ob die Regelungen den Beton oder den Bewehrungsstahl betreffen. Dieser Punkt ist deshalb von Bedeutung, weil Beton- bzw. Stahlkorrosion unter Umständen unterschiedliche betontechnologische Maßnahmen erfordern.

Dies führt zum Stichwort „Betontechnologie“: Diese hat sich seit 1988 grundlegend verändert: Neue Zemente (siehe z. B. Anhang F.3.1 in [3]), neue Technologien bei der Zementherstellung (Stichwort Mahlfeinheit), der Einsatz von Zusatzstoffen aus technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gründen sowie die zunehmende Verwendung von Zusatzmitteln seien an dieser Stelle genannt. Statt von einem Dreikomponentenbaustoff, bestehend aus Zement, Gesteinskörnung und Zugabewasser, muss heute von einem Fünfkomponentenmaterial gesprochen werden, dessen Eigenschaften nicht mehr vollständig durch die „alte“ DIN 1045 [7] erfasst werden.

Ein weiterer, weniger kritischer Punkt betrifft das Vorhaltemaß Δc bei der Betondeckung: Die im Zusammenhang mit der Fassung Juli 2002 des DBV-Merkblattes „Betondeckung und Bewehrung“ [11] zusammengetragenen Erfahrungen bzw. durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass der in [7] enthaltene Wert von $\Delta c = 10$ mm bei einigen Umweltbedingungen *nicht* ausreicht, um die Bewehrung nachhaltig von Korrosionsschäden zu schützen.

Die neue Normengeneration [2] bis [6] bot deshalb Gelegenheit, die zuvor beschriebenen Defizite bezüglich der Dauerhaftigkeit von Betontragwerken in den „alten“ Normen abzubauen und den aktuellen Stand der Technik festzuschreiben. Konzeptionell wurde dabei das allgemeine Nachweisformat in DIN 1055-100 [1] übernommen:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

worin

E_d den Bemessungswert der Einwirkungen

und

R_d den entsprechenden Bauteil- oder Bauwerkswiderstand

bezeichnen.

In Bezug auf die hier behandelte Frage der Dauerhaftigkeit umfasst E_d die Umgebungsbedingungen, denen in [2], [3] und [6] „Expositionsklassen“ zugeordnet sind. Der Bauteil- oder Bauwerkswiderstand R_d ist durch die Einhaltung von Bemessungs- und Konstruktionsregeln, durch betontechnologische Maßnahmen sowie durch die Verfahren der Bauausführung, die auch Überwachungsmaßnahmen beinhalten, sicherzustellen.

Im Folgenden wird auf die Größen E_d und R_d näher eingegangen.

2 Bedeutung der Expositions- klasse für Planung und Ausführung

Durch den Begriff „Expositionsklassen“ werden die Umgebungsbedingungen, d. h. die chemischen und physikalischen Einwirkungen E_d , beschrieben, denen ein Tragwerk als Ganzes, einzelne Bauteile, der Spann- oder Betonstahl oder der Beton selbst ausgesetzt sind und die bei den Nachweisen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nicht direkt berücksichtigt werden ([2], Abschnitt 6.2 (1)) oder werden können. Unter Berücksichtigung der bereits mehrfach angesprochenen Forderung nach Dauerhaftigkeit ergibt sich hieraus zwangsläufig, dass – vergleichbar mit Verkehrslasten – die Expositionsklassen im Zuge der Planungsphase festzulegen sind.

Auf dieser Festlegung basieren folgende Regelungen für die Bemessung, Betontechnologie und Ausführung:

- a) Bemessung
 - Festlegung der Mindestbetonfestigkeitsklasse ([2], Abschnitt 6.2);
 - Mindestmaß der Betondeckung ([2], Abschnitt 6.3);
 - Vorhaltemaß der Betondeckung ([2], Abschnitt 6.3 (8) und Tab. 4);
 - Begrenzung der Betondruckspannungen ([2], Abschnitt 11.1.2);
 - Begrenzung der Rissbreiten und Nachweis der Dekompression ([2], Abschnitt 11.2 und Tab. 18, 19).
- b) Betontechnologie
 - Zusammensetzung des Betons ([3], Abschnitt 5 und Anhang F);
 - Wahl der Betonausgangsstoffe ([3], Anhang F, Tab. F.3.1 und F.3.2).
- c) Ausführung
 - Nachbehandlung und Schutz des Betons ([4], Abschnitt 8.7);
 - Festlegung der Überwachungsklassen ([4], Abschnitt 11.5).

Die Expositionsklassen stellen somit ein wichtiges Element für Planung, Betontechnik und Ausführung nach der neuen Normengeneration dar. In Abschnitt 4.2.1 von DIN 1045-1 [2] heißt es deshalb:

„4.2 Zeichnungen

4.2.1 Allgemeine Anforderungen

(...)

(3) Auf den Bewehrungszeichnungen sind insbesondere anzugeben:

– die erforderliche Festigkeitsklasse des Betons, die Expositionsklassen und weitere Anforderungen an den Beton in Übereinstimmung mit den Festlegungen nach 6.2 (Anm.: in DIN 1045-1) und DIN 1045-2.“

DIN 1045-1 enthält somit einen konkreten Hinweis darauf, welche Planungsleistungen im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit zu erbringen sind.

3 Beschreibung der Expositionsklassen

Dem in der Praxis tätigen Tragwerksplaner ist die Tabelle 10 von DIN 1045 (07.88) [7], geläufig: In ihr sind in den Zeilen 1 bis 4 Umweltbedingungen beschrieben, denen das Bauwerk als Ganzes oder seine Teile ausgesetzt sind. In Ergänzung hierzu werden in Abschnitt 6.5.7 von DIN 1045 (07.88) [7] „besondere Eigenschaften“ definiert, die der Beton je nach Beanspruchung oder Bauverfahren aufweisen muss. Diese Unterscheidung wird vom Grundsatz her auch in den neuen Normen [2], [3] und [6] übernommen.

Neben redaktioneller Trennung der Anforderungen in den Abschnitten 6.5.7 bzw. 13.2 von DIN 1045 (07.88) [7] liegt, wie bereits in Kapitel 1 festgestellt, der wesentliche Nachteil der alten Norm in

- der fehlenden klaren Unterscheidung zwischen den Kriterien zum Schutze der Bewehrung und denen zum Schutze des Betons;
- der Tatsache, dass einige, die Dauerhaftigkeit betreffende Regelungen in nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen.

Diese Mängel werden in den neuen Normen geheilt: Tabelle 3 in DIN 1045-1 [2] unterscheidet deutlich zwischen Umgebungsbedingungen, die

- infolge Karbonatisierung oder von Chloriden zu einer Korrosion des Beton- und Spannstahls sowie eines eingebetteten Metalls (z. B. „Ankerschienen“) führen (siehe Tabelle 1, Zeilen 2 bis 4);
- eine Zerstörung des Betongefüges zur Folge haben (siehe Tabelle 1, Zeilen 5 bis 7).

Alle weiteren Maßnahmen (Kapitel 2 oben) werden von dieser Einteilung, die durchaus zu sich

Tabelle 1: Kurzbeschreibung der Expositionsklassen in DIN 1045-1 [2] und Einstufungskriterien

Zeile	Angriff auf	Expositionsklasse	Zerstörungsmechanismus	Maßgebendes Einstufungskriterium
	1	2	3	4
1	Beton-, Spannstahl, Beton	X0	kein Korrosions- oder Angriffsrisiko	–
2	Betonstahl, Spannstahl, eingebettetes Metall	XC	Metall- bzw. Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung	Durchfeuchtungsgrad des Betons oder wechselnd nass und trocken
3		XD	Metall- und Bewehrungskorrosion durch Chloride, ausgenommen Meerwasser	
4		XS	Metall- und Bewehrungskorrosion durch Chloride aus Meerwasser	
5	Beton	XF	Betonangriff durch Frost ohne und mit Taumitteln	Wassersättigungsgrad des Betons ohne oder mit Taumitteln
6		XA	Betonzerstörung durch chemischen Angriff aus der Umgebung	Art und Konzentration des chemischen Mediums
7		XM	Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung	Art und Intensität der Verschleißbeanspruchung

widersprechenden Konsequenzen führen kann, abhängig gemacht.

Tabelle 3 in DIN 1045-1 [2] enthält in der Spalte 2 eine grobe Beschreibung der Umgebungsbedingungen (**Tab. 1**, Spalte 3) und in Spalte 3 Beispiele für die Zuordnung. Einen Auszug hieraus zeigt **Tab. 2** für die häufige Expositionsklassenkombination XC und XF.

Wichtig für die praktische Anwendung sind nach Einschätzung des Autors weniger die Beispiele als vielmehr das Verständnis für die Zerstörungsmechanismen auf die Bewehrung oder den Beton (**Tab. 1**, Spalte 3): So nimmt die Angriffsintensität bei den Klassen XC, XD und XS mit wachsendem Durchfeuchtungs- bzw. Wassersättigungsgrad des Betons zu und ist bei wechselnder Durchfeuchtung am größten (**Tab. 2**, Zeilen 1 bis 4). Bei der Klasse XF spielt die Kombination von Wassersättigung und Taumitteln bzw. Meerwasserkontakt eine Rolle (**Tab. 2**, Zeilen 5 bis 8). Für den chemischen Angriff (Expositionsklassen XA1 bis XA3) sind in Tabelle 2 von [6] kritische Konzentrationen des Mediums (z. B. CO_2 oder SO_4^{2-}) angegeben. Die Expositionsklassen XM1 bis XM3 werden von der Bereifung des die Verschleißbeanspruchung verursachenden Fahrzeugs abhängig gemacht. Eine weitere detaillierte Beschreibung enthalten u. a. [13] und [14].

Hingewiesen sei an dieser Stelle darauf, dass die alleinige Angabe einer Betonfestigkeitsklasse auf

den Bewehrungszeichnungen (z. B. die Klasse C20/25 in Zeile 3, Spalte 5 in **Tab. 2**) zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Tragwerken aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton nicht ausreicht. Dies ist nur durch entsprechende betontechnologische Maßnahmen möglich (siehe [3], Tabelle F.2.1, F.2.2, F.3.1, F.3.2 und F.3.3), für die eine präzise Angabe des Zerstörungsmechanismus und damit die eindeutige Bezeichnung der Expositionsklasse der maßgebende Eingangsparameter ist. In diesem Sinne ist der am Ende des Kapitels 2 zitierte Text aus [2] zu verstehen.

Tab. 3 zeigt eine Gegenüberstellung der „Expositionsklassen“ nach alter und neuer DIN 1045. Sie zeigt u. a., dass die Klassen XA3 sowie XM2 und XM3 nicht in vergleichbarer Form in DIN 1045 (07.88 [7]) enthalten waren. Dies unterstützt die Aussage, dass [7] nicht mehr in allen Punkten dem Wissensstand auf dem Gebiet der Dauerhaftigkeit entspricht.

4 Betondeckung

Die Dauerhaftigkeit von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, die in Gl. (1) durch das Symbol R_d gekennzeichnet ist, hängt in hohem Maße von der Betondeckung c ab. **Tab. 4** enthält die in [2] aus Korrosionsschutzgründen vorgegebenen Mindestwerte der Betondeckung c_{min} in mm, und zwar für Stahlbeton bzw. vorgespannte Tragwerke. Der Vergleich mit den „alten“ Regelwerken [7] und [8] zeigt, dass sich die Werte in der neuen DIN 1045-1 [2] nicht wesentlich unterscheiden. Unberücksichtigt bleiben bei diesem Vergleich bauwerksspezifische Festlegungen wie z. B. in [18] und [19].

Die vorstehende Aussage bezüglich der Größe von c_{min} gilt nicht für das Vorhaltemaß Δc , das in den Expositionsklassen XC2 bis XC4, XD und XC gegenüber [7] um 5 mm angehoben wurde.

Die Begründung für diese Verschärfung ist in [11] gegeben: Das Vorhaltemaß Δc soll sicherstellen,

Tabelle 2: Definition der Expositionsklassen XC und XF in DIN 1045-1 [2]

Zeile	Zerstörungsmechanismus	Expositionsklasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele	Mindestbetonfestigkeitsklasse nach Tab. F.2.1 u. F.2.2 in [3]
	1	2	3	4	5
1	Metall- oder Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung	XC1	Trocken oder ständig nass	Bauteile in Innenräumen mit normaler Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden); Bauteile, die sich ständig unter Wasser befinden	C16/20
2		XC2	Nass, selten trocken	Teile von Wasserbehältern; Gründungsbauteile	C16/20
3		XC3	Mäßige Feuchte	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig oder ständig Zugang hat, z. B. offene Hallen; Innenräume mit hoher Luftfeuchte, z. B. in gewerblichen Küchen, Bädern, Wäschereien, in Feuchträumen von Hallenbädern und in Viehställen	C20/25
4		XC4	Wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Beregnung; Bauteile in Wasserwechselzonen	C25/30
5	Betonangriff durch Frost ohne und mit Taumittelseinsatz	XF1	Mäßige Wassersättigung ohne Taumittel	Außenbauteile	C25/30
6		XF2	Mäßige Wassersättigung mit Taumittel oder Meerwasser	Bauteile im Sprühnebel- oder Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen, soweit nicht XF4; Bauteile im Sprühnebelbereich von Meerwasser	C25/30 mit LP ¹⁾ C35/45 ohne LP ³⁾
7		XF3	Hohe Wassersättigung ohne Taumittel	Offene Wasserbehälter; Bauteile in der Wasserwechselzone von Süßwasser	C25/30 mit LP C35/45 ohne LP ³⁾
8		XF4	Hohe Wassersättigung mit Taumittel oder Meerwasser	Bauteile, die mit Taumitteln behandelt werden; Bauteile im Spritzwasserbereich von taumittelbehandelten Verkehrsflächen mit überwiegend horizontalen Flächen, direkt befahrene Parkdecks ²⁾ ; Bauteile in der Wasserwechselzone von Meerwasser; Räumlerlaufbahnen von Kläranlagen	C30/37 mit LP, Betone ohne LP nicht zulässig!

¹⁾ LP: Beton mit künstlich eingeführten Luftporen; ²⁾ Ausführung nur mit zusätzlichen Maßnahmen (z. B. rissüberbrückende Beschichtung); ³⁾ nach [12] C30/37

dass der Mindestwert der Betondeckung c_{min} im Bauteil mit ausreichender Zuverlässigkeit eingehalten wird. Umfangreiche Messungen haben ergeben, dass c_{min} bei einem Vorhaltemaß $\Delta c = 10$ mm im Regelfall als 10 %-Quantilwert eingehalten ist. Diese Zuverlässigkeit reicht für Bauteile in der Expositionsklasse XC1 (Umgebungsbedingungen trocken oder ständig nass) aufgrund der bisherigen Erfahrungen aus.

Erhöht man das Vorhaltemaß Δc auf 15 mm, so wird in der Regel der Mindestwert c_{min} als 5 %-Quantil eingehalten, oder, anders ausgedrückt, bei der statistischen Auswertung von unendlich vielen Messwerten c liegen nur 5 % unter dem Mindestwert c_{min} . Zur Erzielung einer ausreichenden Dauerhaftigkeit im Sinne der in [1] definierten „grundlegenden Anforderungen“ (Kapitel 1 oben) ist nach [2] in den zu-

vor genannten Expositionsklassen das durch das 5 %-Quantil definierte Zuverlässigkeitsniveau erforderlich. Als Folge wurde das Vorhaltemaß Δc auf 15 mm festgelegt.

Die vorstehenden Zusammenhänge sind in **Abb. 2** erläutert: An einem Bauteil werden die Ist-Werte der Betondeckung gemessen (**Abb. 2a**), wobei die Anzahl willkürlich zu $n = 35$ angenommen wurde. Für Planung und Ausführung sei das Vorhaltemaß zu $\Delta c = 10$ mm angenommen.

In **Abb. 2b** sind die Werte nach dem Neville-Verfahren [11] ausgewertet. Unterstellt man die Expositionsklasse XD1 mit einem Mindestmaß der Betondeckung von $c_{min} = 40$ mm (vgl. **Tab. 4**, Zeile 3, Spalte 2, liegen in **Abb. 2b** 29 % unterhalb dieses

Tabelle 3: Zuordnung der Betoneigenschaften nach DIN 1045 (07.88) bzw. DAfStb-Richtlinien [15], [16] zu Beton nach DIN EN 206-1 (nach [17])

Zeile	DIN 1045: 1988-07 bzw. DAfStb-Richtlinie		DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2/Expositionsklassen bzw. Abschnitt
	Abschnitt	Inhalt	
	1	2	3
1	6.5.5.1	Unbewehrter Beton	X0
2	6.5.1, 6.5.5.1	Innenbauteil	XC1
3	6.5.1, 6.5.5.1	Außenbauteil	XC4/XF1
4	6.5.7.2	Wasserundurchlässiger Beton	DIN 1045-2, 5.5.3
5	6.5.7.3	Beton mit hohem Frostwiderstand	XC4/XF1
6	6.5.7.4	Beton mit hohem Frost- und Tausalzwiderstand	XF4
7	6.5.7.4	Beton mit hohem Frost- und Tausalzwiderstand, sehr starker Frost, Tausalzangriff	XF4
8	6.5.7.5	Beton mit hohem Widerstand gegen schwachen chemischen Angriff	XA1
9	6.5.7.5	Beton mit hohem Widerstand gegen starken chemischen Angriff	XA2
10	6.5.7.5	Beton mit hohem Widerstand gegen sehr starken chemischen Angriff	XA2
11	6.5.7.6	Beton mit hohem Verschleißwiderstand	XM1
12	6.5.7.7	Beton für hohe Gebrauchstemperaturen bis 250 °C	DIN 1045-2, 5.3.6
13	6.5.7.8	Beton für Unterwasserschüttung (Unterwasserbeton)	DIN 1045-2, 5.3.4
14	[15]	Hochfester Beton	DIN EN 206-1, 3.1.10
15	[16]	Fließbeton	DIN 1045-2, 3.1.51

dass die Vergrößerung von Δc auf 15 mm zu gegenüber **Abb. 2a** um 5 mm größeren Ist-Werten der Betondeckung c führt. Deren Verteilung wird somit in Richtung der Abszisse in **Abb. 2c** verschoben. Man erkennt, dass unter diesen Annahmen das Maß $c = 40$ mm dem 4%-Quantil entspricht und die Anforderungen in [1], [2] bezüglich der Dauerhaftigkeit erfüllt sind.

Die Schlussfolgerung besteht also darin, je nach Bauaufgabe ein ausreichend großes Vorhaltemaß zu wählen, damit das geforderte Dauerhaftigkeitsniveau erreicht

wertet. Die Anforderungen in DIN 1045-1 [2] sind somit nicht erreicht.

In **Abb. 2c** wurde vereinfachend angenommen,

wird. In diesem Zusammenhang sei auf die Absätze (10) und (11) des Abschnittes 6.3 in DIN 1045-1 [2] verwiesen.

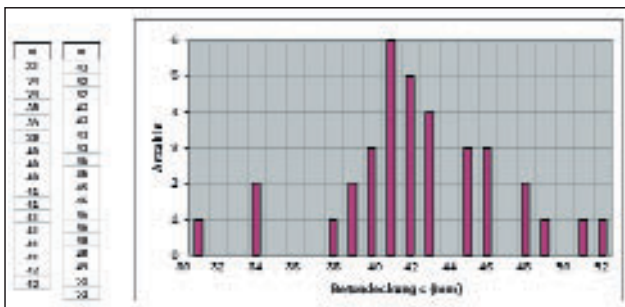


Abb. 2a: Auswertung von Messwerten der Betondeckung; a) Messwerte der Betondeckung ($n = 35$) bei $\Delta c = 10$ mm;

5 Rechnerische Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

Die rechnerischen Nachweise nach Abschnitt 11 in DIN 1045-1 [2], insbesondere die nach den Unterabschnitten 11.1 und 11.2, die die Begrenzung der Spannungen bzw. der Rissbreiten zum Gegenstand haben, sind ebenfalls darauf abgestellt, die Dauerhaftigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen zu

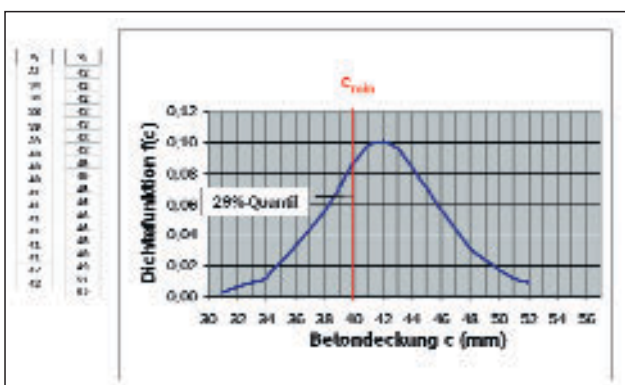


Abb 2b: Auswertung nach [11];

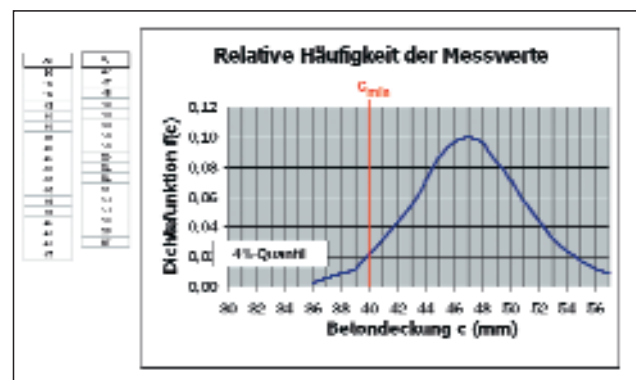


Abb. 2c: Messwerte der Betondeckung und deren Auswertung nach [11] bei $\Delta c = 15$ mm

Tabelle 4: Mindestbetondeckung c_{min} nach DIN 1045-1 [2] zum Schutz gegen Korrosion und Vorhaltemaß Δc in Abhängigkeit von der Expositionsklasse

Zeile	Expositionsklasse	Betonstahl	Mindestbetondeckung c_{min} in mm bei Spannstahl mit		Vorhaltemaß Δc in mm
			sofortigem Verbund	nachträglichem Verbund	
	1	2	3	4	5
1	XC1	10 (10) ¹⁾	20 (20) ²⁾	20 (40) ³⁾	10 (10) ¹⁾
2	XC2	20 (20)	30 (30)	30 (40)	15 (10)
	XC3	20 (20)	30 (30)	30 (40)	
	XC4	25 (25)	35 (35)	35 (40)	
3	XD1	40 (40)	50 (50)	50 (40)	15 (10)
	XD2				
	XD3				
4	XS1	40 (40)	50 (50)	50 (40)	15 (10)
	XS2				
	XS3				

¹⁾ Klammerwerte in dieser Spalte nach Tabelle 10 in DIN 1045, Ausgabe 07.88 [7]
²⁾ Klammerwerte in dieser Spalte nach DIN 4227-1, Ausgabe 07.88 [8], Abschnitt 6.2.3 (2)
³⁾ Klammerwerte in dieser Spalte nach DIN 4227-1, Ausgabe 07.88 [8], Abschnitt 6.2.1, sofern nicht der 0,6fache Innen-Durchmesser des Hüllrohrs maßgebend wird.

sichern. Neu ist jedoch, dass in Abschnitt 11.1.2 (1) von DIN 1045-1 [2] gegenüber [7] auch für Stahlbetonbauteile Spannungsnachweise für den Beton verlangt werden. Auch hier spielen die Expositionsklassen XD, XS und XF (**Tab. 1**) eine wesentliche Rolle.

Der Nachweis

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck} \quad (2)$$

(σ_c : Betondruckspannung unter der seltenen Einwirkungskombination;
 f_{ck} : charakteristische Druckfestigkeit des Betons)

nach dem zuvor zitierten Abschnitt hat das Ziel, eine Gefügestörung des Betons als Folge zu hoher Gebrauchsspannungen zu vermeiden. Durch derartige Störungen kann in den Expositionsklassen XD und XF eine flächige Chloridkorrosion eingeleitet werden ([14], Erläuterungen zu Abschnitt 11.1.2), die sich besonders nachteilig auf die Dauerhaftigkeit auswirkt (**Abb. 1**).

Eine Frostbeanspruchung des Betons (Expositionsklasse XF) hat ebenfalls Gefügezerstörungen zur Folge. Durch den zitierten Abschnitt in DIN 1045-1 [2] ist sichergestellt,

dass sich die genannten beiden Ursachen für Betonschäden nicht überlagern.

Die Regelungen in den Abschnitten 11.1.3 und 11.1.4 (1) sollen ein Fließen der Bewehrung unter Gebrauchsbedingungen und somit die Bildung breiter, die Korrosion fördernder Einzelrisse verhindern. Dies leitet zum Abschnitt 11.2 in DIN 1045-1 [2] mit der Überschrift „Begrenzung der Rissbreiten und Nachweis der Dekompression“ über.

Der Aufbau dieses Kapitels in [2] entspricht sehr weitgehend dem in der Ausgabe 07.88 von DIN 1045: neben der Forderung nach einer Mindestbewehrung (Abschnitt 11.2.2 in [2]) ist die Rissbreite unter Lastbeanspruchung zu begrenzen (Abschnitt 11.2.3 und 11.2.4).

Unterschiede zwischen [2] und [7] bestehen zunächst darin, dass

- das Konzept in [2] auf Spannbetonbauteile erweitert wurde;
- unterschiedliche Rissformeln zugrunde liegen (siehe hierzu [14] und [20]). Hierauf wird jedoch an dieser Stelle nicht im Einzelnen eingegangen.

Die Aufgabe bei der Abfassung des Abschnittes 11.2 in DIN 1045-1 [2] bestand zunächst darin, die unterschiedlichen Nachweiskonzepte in den „alten“ Normen [7] und [8] zusammenzuführen. Dies geschah durch die Definition so genannter Mindestanforderungsklassen (**Tab. 5**), die ihrerseits von den Expositionsklassen XC, DC und XS abhängig sind

Tabelle 5: Mindestanforderungsklassen B bis F in [2] zur Begrenzung der Rissbreite und zum Nachweis der Dekompression in Abhängigkeit von den Expositionsklassen

Zeile	Expositionsklasse	Anforderungsklasse als Funktion der Vorspannart:			Stahlbetonbauteile
		Vorspannung mit nachträglichem Verbund	Vorspannung mit sofortigem Verbund	Vorspannung ohne Verbund	
	1	2	3	4	5
1	XC1	D	D	F	F
2	XC2, XC3, XC4	C ¹⁾	C	E	E
3	XD1, XD2, XD3 ²⁾	C ¹⁾	B	E	E
4	XS1, XS2, XS3	C ¹⁾	B	E	E

¹⁾ Wird der Korrosionsschutz anderweitig sichergestellt, darf die Anforderungsklasse D verwendet werden. Hinweise enthalten die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der Spannverfahren.
²⁾ Im Einzelfall können zusätzlich besondere Maßnahmen für den Korrosionsschutz notwendig sein.

Tabelle 6: Anforderungen in [2] an die Begrenzung der Rissbreiten und an den Nachweis der Dekompression

Zeile	Anforderung klasse	Einwirkungskombination für den Nachweis der		Rechenwert der Rissbreite w_k (mm)
		Dekompression	Begrenzung der Rissbreite	
	1	2	3	4
1	A	selten	–	
2	B	häufig	selten	0,2
3	C	quasi-ständig	häufig	
4	D	–	häufig	
5	E	–	quasi-ständig	0,3
6	F	–	quasi-ständig	0,4

und die vom Grundsatz her den derzeitigen status quo von der „vollen Vorspannung“ im Sinne von [8] bis zum „Vorspanngrad Null“ in [7] abbilden.

Das Prinzip besteht darin, für eine Expositionsklasse und bei einem Lastniveau rechnerische Nachweise zu definieren, die die Dauerhaftigkeit von Stahl- bzw. Spannbetonbauteilen sicherstellen. Das Ergebnis ist in **Tab. 6** wiedergegeben.

Klasse A, die in [19] für den Betonbrückenbau von Bedeutung ist, beinhaltet den Nachweis, dass der Betonquerschnitt unter der hohen „seltenen“ Einwirkungskombination im Sinne von [1] überdrückt bleibt. Klasse F beinhaltet Rechenwerte der Rissbreite von $w_k = 0,4$ mm in Stahlbetonbauteilen in der Expositionsklasse XD1 bei quasi-ständigen Einwirkungen. Die dazwischen liegenden Nachweise werden in Abhängigkeit von Expositionsklassen und dem Lastniveau abgestuft.

Den Leser dieser Zeitschrift interessiert die Frage, ob die Neuregelungen in [2] zu einer höheren Mindestbewehrung zur Beschränkung der Rissbreite führen. **Tab. 7** belegt, dass die Tendenz nicht einheitlich ist: aus den Vergleichen in den Spalten 2 und 3

Tabelle 7: Vergleich der Grenzdurchmesser d_s^* zur Begrenzung der Rissbreite in Abhängigkeit von w_k nach [2] und [7] bzw. [20]

Zeile	Stahlspannung σ_s in N/mm ²	Rechenwert der Rissbreite			
		$w_k = 0,4$ mm		$w_k = 0,2$ mm	
		d_s^* nach [2]	d_s^* nach [7]	d_s^* nach [2]	d_s^* nach [7]
	1	2	3	4	5
1	160	56	36	28	25
2	200	36	36	18	16
3	240	25	28	13	12
4	280	18	25	9	8
5	320	14		7	
6	360	11	16 ¹⁾	6	5 ¹⁾
7	400	9	10	5	4
8	450	7	8	4	– ²⁾

¹⁾ für $\sigma_s = 350$ N/mm², ²⁾ Nachweis über genauere Rissformel in [20]

bzw. 4 und 5 kann man schließen, dass [7] bei kleineren rechnerischen Rissbreiten w_k zu höheren Mindestbewehrungen und zu schärferen Begrenzungen des Stabdurchmessers des Betonstahls führt. Eine allgemeine, pauschale Aussage ist in diesem Zusammenhang jedoch nicht möglich. Zu berücksichtigen bleibt jedoch, dass die in Kapitel 3 beschriebenen Expositionsklassen im Vergleich zu [7] höheren Betonfestigkeitsklassen und damit zu einer höheren Zugfestigkeit f_{ctm} und somit zu höheren Mindestbewehrungsquerschnitten führen können.

6 Konstruktionsregeln

Abschnitt 6.1 (2) in [2] enthält den deutlichen Hinweis darauf, dass die bislang beschriebenen Anforderungen an die Dauerhaftigkeit die Einhaltung der Bewehrungs- und Konstruktionsregeln in DIN 1045-1 [2] voraussetzen. Im Prinzip geht es dabei darum, das Bauteil so konstruktiv durchzubilden, dass es im Fertigteilwerk oder auf der Baustelle überhaupt hergestellt werden kann. Gegen dieses durchaus einsehbar Prinzip wird in der Praxis häufig verstoßen. Dies gilt insbesondere für die Einhaltung der Stababstände.

Hingewiesen sei an dieser Stelle besonders auf eine Regelung in DIN 1045-1 [2], Abschnitt 12.2, die in dieser Form nicht in DIN 1045 (07.88) [7] enthalten war. Sie lautet:

„12.2 Stababstände von Betonstählen

(...)

(2) Der lichte Abstand (horizontal und vertikal) zwischen parallelen Einzelstäben oder Lagen paralleler Stäbe darf nicht unter 20 mm liegen, muss jedoch mindestens gleich dem Durchmesser des größten Stabes sein. Sofern nicht besondere Maßnahmen zum Einbringen und Verdichten des Betons getroffen werden, dürfen diese Abstände bei einem Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung $d_g > 16$ mm nicht kleiner als $d_g + 5$ mm sein.“

Der zweite Satz macht die in den neuen Betonbaunormen beabsichtigte Verknüpfung von Planung, Betontechnologie, Ausführung und Dauerhaftigkeit deutlich: Die Regelung zielt dar-

auf ab, Fehlstellen im Beton, z. B. so genannte „Kiesnester“, zu vermeiden. Erlauben beispielsweise Querschnittsgeometrie und Bewehrungsführung nicht den Einsatz eines Größtkorns $d_g = 32$ mm, so ist, wie ausdrücklich gefordert, auf den Bewehrungszeichnungen darauf hinzuweisen. Umgekehrt kann der mit einem kleineren Größtkorndurchmesser verbundene größere Zementleimbedarf zu einer höheren Betonzugfestigkeit oder Hydratationswärme führen, die im Umkehrschluss u. U. bei der Tragwerksplanung zu berücksichtigen ist.

7 Beispiel Außenbauteil

Die vorstehenden Zusammenhänge sollen nochmals anhand eines Übersichtsbeispiels zusammengefasst werden.

Als Außenbauteile werden in DIN 1045 (07.88) [7], Abschnitt 2.1.1 (2), solche Stahlbetonbauteile definiert, die der Witterung unmittelbar ausgesetzt sind. Diese Definition gilt sinngemäß auch für vorgespannte Bauteile [8].

Der Begriff „der Witterung unmittelbar ausgesetzt“ bezeichnet im Hinblick auf die Bewehrungskorrosion eine wechselnde Durchfeuchtung des Betons, z. B. durch direkte Beregnung und damit einhergehender Karbonatisierung, sowie bezüglich des Betonangriffs eine mäßige Wassersättigung ohne

Taumittleinsatz. Diese klare Unterscheidung der Zerstörungsmechanismen wurde in DIN 1045-1 [2], Abschnitt 6.2, aufgenommen (**Tab. 2**, Zeilen 4 und 5, Spalte 3).

Zur Sicherstellung eines ausreichenden Bauteilwiderstandes definiert DIN 1045 (07.88) [7] in Abschnitt 2.1.2 (4), 1), einen „Beton für Außenbauteile“ wie folgt:

„Beton für Außenbauteile ist Beton, der so zusammengesetzt, fest und dicht ist, dass er im oberflächennahen Bereich gegen Witterungseinflüsse einen ausreichend hohen Widerstand aufweist und dass der Bewehrungsstahl während der gesamten vorausgesetzten Nutzungsdauer in einem korrosionsschützenden, alkalischen Milieu verbleibt.“

Diese Definition gilt uneingeschränkt auch für DIN 1045-1 [2].

Tab. 8 zeigt einen Vergleich der Bemessungskriterien, die zur Erfüllung der zuvor beschriebenen Anforderungen an einen „Beton für Außenbauteile“ beachtet werden müssen. Man erkennt, dass die Regelungen in DIN 1045-1 [2] und DIN 1045 (07.88) [7] in weiten Bereichen durchaus vergleichbar sind. Dies gilt z. B. für die Mindestbetondruckfestigkeit (**Tab. 8**, Zeile 2), die vom Grundsatz her eine grobe Umschreibung der Betonzusammensetzung darstellt.

Die Verknüpfung von Last- und Dauerhaftigkeitskriterien wird aus in **Tab. 8**, Zeile 3 deutlich: Ei-

Tabelle 8: Vergleich der Regelungen für Außenbauteile aus Stahlbeton in DIN 1045 (07.88) [7] und DIN 1045-1 [2]

Zeile	Bemessungskriterium	Regelungen in		Bemerkung
		DIN 1045 (07.88) [7]	DIN 1045-1 [2]	
	1	2	3	4
1	Umgebungsbedingungen	[7], Tab. 10, Zeile 3	[2], Tab. 3: XC4, XF1	
2	Mindestbetonfestigkeitsklasse	[7], 6.5.2 (4), Fußn. 12) : $\beta_{WN} \geq 32 \text{ N/mm}^2$	XC4: C25/30 XF1: C25/30	β_{WN} : Nennwert der Betondruckfestigkeit
3	Spannungsbegrenzung im Gebrauchszustand	keine	$\sigma_{c,rare} \leq 0,6 f_{ck}$	Betondruckspannung unter der seltenen Einwirkungskombination
4	Mindestanforderungsklasse	keine vergleichbare Regelung	[2], Tab. 19: Klasse E	
5	Rechenwert der Rissbreite	$w_{cal} = 0,25 \text{ mm}$	$w_k = 0,30 \text{ mm}$	für die quasi-ständige Einwirkungskombination; [20]
6	Mindestbetondeckung (Korrosionsschutz für die Bewehrung)	$\min c = 25 \text{ mm}$	$c_{min} = 25 \text{ mm}$	
7	Vorhaltemaß der Betondeckung	$\Delta c = 10 \text{ mm}$	$\Delta c = 15 \text{ mm}$	
8	Vorgaben zur Betonzusammensetzung	[7], 6.5.2 (4), 6.5.4 (2), 6.5.5.1 (3), 6.5.6.1 (2)	DIN EN 206-1 [6], DIN 1045-2 [3], Abschn. 5; [3], Anhang F	

ne Frostbeanspruchung (hier XF1) führt – wie bereits in Kapitel 5 ausgeführt – zu Gefügestörungen im Beton. Um eine zusätzliche Beeinträchtigung der Betonstruktur durch Mikrorisse als Folge hoher Druckspannungen zu vermeiden, ist eine Beschränkung der Betondruckspannung unter der seltenen Einwirkungskombination auf

$$\sigma_{c,rare} \leq 0,6 f_{ck} \quad (3)$$

f_{ck} : charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit

erforderlich, sofern „keine anderen Maßnahmen“ zur Vermeidung von Gefügezerstörungen im Beton getroffen werden. Zu diesen Maßnahmen zählen u. a. eine Erhöhung der Betondeckung in der Druckzone oder deren Umschnürung durch eine Querbewehrung

– Maßnahmen also, durch die die lokale Beanspruchung in Bereichen, in denen Chloride oder Frost wirken, herabgesetzt wird. Auch der Einsatz von Luftporenbildern ist hier zu nennen (Kapitel 3 und Tab. 2).

Von praktischer Bedeutung ist auch die Vergrößerung des Vorhaltemaßes Δc der Betondeckung von 10 auf 15 mm, insbesondere für filigrane Bauteile des Fertigbaus und Hochbaus. Begründungen für diese Verschärfung gegenüber [7] finden sich in [11] und [14]. Sie wird durch die im Zusammenhang mit der Neufassung von [11] durchgeführten Messungen der Betondeckungen bestätigt.

Weitere Beispiele mit den entsprechenden Hinweisen finden sich in [21].

Literatur

- [1] DIN 1055-100: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Ausgabe März 2001.
- [2] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Ausgabe Juli 2001.
- [3] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton. Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. Ausgabe Juli 2001.
- [4] DIN 1045-3: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 3: Bauausführung. Ausgabe Juli 2001.
- [5] DIN 1045-4: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen. Ausgabe Juli 2001.
- [6] DIN EN 206-1: Beton. Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Ausgabe Juli 2001.
- [7] DIN 1045: Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung. Ausgabe Juli 1988.
- [8] DIN 4227-1: Spannbeton; Teil 1: Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung. Ausgabe Juli 1988.
- [9] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb): Richtlinie zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus Stahlbeton. Fassung März 1983.
- [10] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie zur Änderung von DIN 4227-Teil 1: Spannbeton, Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung (Ausgabe 12.79.). Fassung Juli 1985.
- [11] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V.: DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“, Fassung Juli 2002. Berlin: Selbstverlag 2002.
- [12] DIN 1045-2/A1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. A1-Änderung. Entwurf Juni 2004.
- [13] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (Hrsg.): Betonherstellung und Verwendung nach neuer Norm. Berlin: Verlag Ernst & Sohn 2003.
- [14] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb) (Hrsg.): Erläuterungen zu DIN 1045-1. Heft 525 der Schriftenreihe des DAfStb. 1. Auflage, September 2003. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [15] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb): Richtlinie für hochfesten Beton; Ergänzung zu DIN 1045 (07.88) für die Festigkeitsklassen B 65 bis B 115. Fassung August 1995.
- [16] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V. (DAfStb): Richtlinie für Fließbeton; Herstellung, Verarbeitung und Prüfung. Fassung August 1995.
- [17] Hartz, U.: Neues Normenwerk im Betonbau. Bauaufsichtliche Einführung beschlossen – Festlegungen und Konsequenzen. Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), Heft 1/2002, Seiten 2 bis 6.
- [18] DIN 1075: Betonbrücken; Bemessung und Ausführung. Ausgabe April 1981.
- [19] DIN-Fachbericht 102: Betonbrücken. Ausgabe 2003.
- [20] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb): Erläuterungen zu DIN 1045, Beton und Stahlbeton, Ausgabe 07.88. Heft 400 der DAfStb-Schriftenreihe. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1989.
- [21] Meyer, L., und Litzner, H.-U.: „Bemessung auf Dauerhaftigkeit“. Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003), Heft 10, Seiten 635 bis 644.