

# Positionspapier des DAfStb zur Umsetzung des Konzepts von leistungsbezogenen Entwurfsverfahren unter Berücksichtigung von DIN EN 206-1, Anhang J

## Ausgangssituation und Einleitung

In den derzeit geltenden Regelwerken wird die Dauerhaftigkeit von Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken deskriptiv sichergestellt. Für die jeweilige Expositionsklasse werden

- Anforderungen an die Betonausgangsstoffe gestellt,
- Grenzwerte für die Betonzusammensetzung vorgegeben, aus denen sich gewisse Mindestdruckfestigkeiten für den Beton ableiten,
- einzuhaltende Mindestbetondeckungen und
- Mindestnachbehandlungsdauern vorgegeben.

Die in den Normen der Reihe DIN 1045 und DIN EN 206-1 deskriptiv festgelegten Anforderungen hinsichtlich Mindestbetondeckung, maximal zulässigem Wasserzementwert, Mindestzementgehalt und Mindestdruckfestigkeit sollen global für die jeweilige Expositionsklasse eine Nutzungsdauer von 50 Jahren sicherstellen. Diese Anforderungen basieren nicht auf der Grundlage von validierten Dauerhaftigkeitsbemessungsmodellen. Vielmehr bilden diese den unter den beteiligten Kreisen allgemein anerkannten Stand der Technik ab, der auf den Erfahrungen beruht, die in der Praxis über Jahrzehnte hinweg gesammelt wurden. Dabei können keinerlei projektspezifische Parameter wie differenzierte Einwirkungen oder spezielle Randbedingungen der Widerstandsseite berücksichtigt werden, so dass die deskriptiven Anforderungsprofile auf der sicheren Seite liegend sehr weite Bereiche der Spektren sowohl auf der Einwir-

kungsseite als auch auf der Materialseite abdecken müssen.

Seit der Veröffentlichung der Normen der Reihe DIN 1045 und DIN EN 206-1 wurden für einige Schädigungsprozesse leistungsbezogene Nachweise zur Dauerhaftigkeit auf vollprobabilistischer Basis entwickelt, die zur Umsetzung des Anhangs J von DIN EN 206-1 eingesetzt werden können. Aus diesem Grund hatte der Technische Ausschuss „Betontechnik“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton im Jahr 2005 eine Arbeitsgruppe „Dauerhaftigkeitsbemessung“ eingesetzt, um für die vorhandenen Dauerhaftigkeitsbemessungsansätze ein in Deutschland einheitliches Konzept für die Auslegung des Anhangs J von DIN EN 206-1 zu erstellen. Im Jahr 2008 konnten die Arbeiten in den Gremien des DAfStb abgeschlossen und das nachfolgend dargestellte Konzept im DAfStb-Vorstand verabschiedet und zur Veröffentlichung freigegeben werden. Das Positionspapier enthält in kurzer und prägnanter Form Hinweise, wie ein leistungsbezogener Entwurf für die Grenzzustände der carbonatisierungs- und chloridinduzierten Depassivierung der Bewehrung umgesetzt werden kann. Hintergrundinformationen, z. B. zur Datenbasis und statistischen Auswertung, die zur Ableitung der aufgeführten Parameter führten, sind der Quelle [1] zu entnehmen, die gleich im Anschluss an diesen Artikel in diesem Heft abgedruckt ist.

Der neue fib-Model Code „Service Life Design“ (fib-Bulletin 34) [2] enthält Nachweisprinzipien, Modelle und auch Hinweise auf Eingangsparameter für eine vollprobabilistische Lebensdauerbemessung. An-

wendbare vollprobabilistische Vorhersagemodelle sind in [2] derzeit nur für die carbonatisierungs- und chloridinduzierte Depassivierung der Bewehrung im ungerissenen Beton vorhanden. Unter der carbonatisierungs- und chloridinduzierten Depassivierung der Bewehrung werden Grenzzustände (SLS) verstanden, bei denen entweder die Carbonatisierungsfreigrenzfläche die Oberfläche des Bewehrungsstahls erreicht hat oder an der Stahloberfläche ein kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt überschritten ist. Adressiert werden somit die Expositionsklassen XC und XD/XS in DIN EN 206-1. Bei diesen bislang definierten Grenzzuständen (carbonatisierungs- und chloridinduzierter Depassivierung der Bewehrung) handelt es sich aber nicht um klassische Grenzzustände, bei deren Überschreitung die Gebrauchstauglichkeit unmittelbar eingeschränkt wird. Vielmehr bilden diese Ersatzgrenzzustände ab, die echten, die Gebrauchstauglichkeit einschränkenden Grenzzuständen (z. B. korrosionsinduzierte Rissbildung, Betonabplatzungen) vorgeschaltet sind. Die Modellierung der Zerstörungsphase inklusive einer statistischen Quantifizierung der am Korrosionsprozess beteiligten Variablen befindet sich nach wie vor in der Entwicklung und ist noch nicht so weit entwickelt, dass Zustandsbetrachtungen auf damit verknüpfte Grenzzustände abgestützt werden könnten.

Für andere Schädigungsmechanismen ist eine Modellierung derzeit nur bedingt (z. B. Frost- oder Frost-Tausalz-Angriff, [3] oder nicht möglich (Alkali-Kieselsäure-Reaktion).

## Anleitung zur Anwendung des leistungsbezogenen Entwurfsgrundsatzes für die Grenzzustände der carbonatisierungs- und chlorid-induzierten Depassivierung der Bewehrung

Die Depassivierung der Bewehrung in einer carbonatisierten Betonrandzone oder das Erreichen eines kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalts werden – wie zuvor bereits beschrieben – zunächst als (vorge-schaltete Ersatz-)Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS) eingestuft. Bei der Durchführung einer Lebensdauerbemessung muss zunächst als Zielgröße der erforderliche Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  festgelegt werden. Hierzu finden sich für unterschiedliche Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit in ISO 2394:1998 in Abhängigkeit möglicher Konsequenzen einer Grenzzustandsüberschreitung und in Abhängigkeit von erforderlichen Aufwendungen zur Risikominimierung Werte im Bereich  $0 \leq \beta \leq 2,3$ .

In Anlehnung an ISO 2394:1998 [4], aber auch in Anlehnung an andere Normen (EN 1990 [5] und NEN 6700, [6]) und Schriften (fib bulletin 34 [2]) wird für Gebrauchsgrenzzustände (SLS) häufig eine Mindestzuverlässigkeit um  $\beta = 1,5$  gefordert.

Als Orientierung für die Zielgröße der Zuverlässigkeit kann aber auch das Zuverlässigkeitsniveau herangezogen werden, das sich aus den Anforderungen an die Betonzusammensetzung (Wassermenge, Bindemittelauswahl) und die Mindestbetondeckung in DIN 1045 bzw. DIN EN 206-1 ergibt.

Eine Analyse auf Basis des fib Model-Codes [2] hierzu zeigt, dass bei den Expositionsklassen XC1 (ständig nass), XS1/XD1, XC2 und XC4 mit den deskriptiv in DIN 1045 geforderten Betonqualitäten (höchstzulässiger Wassermenge, Ausnutzung der zulässigen Bandbreite an Bindemitteln) und Mindestbetondeckungen unter ungünstigen Annahmen auf Seiten der Einwirkung Zuverlässigkeiten gegenüber dem Grenzzustand „Depassivierung“ von  $\beta \geq 1,5$  erreicht und damit normative Anforderungen erfüllt werden können [1].

In den Expositionsklassen XC1 (trocken), XC3, XS2/XD2 und

XS3/XD3 werden bei Einhaltung der deskriptiv gestellten normativen Anforderungen auf der Widerstandsseite und pessimalen Annahmen auf Seiten der Einwirkung für den Grenzzustand „Depassivierung“ hingegen z. T. deutlich geringere Zuverlässigkeiten erreicht [1].

Im Folgenden werden diese Ergebnisse differenziert nach Expositionsklasse diskutiert und bewertet.

Zunächst wird hierzu der technische Bewertungshintergrund erläutert:

Zuverlässigkeiten gegenüber bestimmten ungewollten Grenzzuständen zur Gebrauchstauglichkeit werden in der Praxis häufig vor dem Hintergrund von Kosten-Nutzen-Analysen festgelegt [7], [8], [9], [10], da bei Gebrauchstauglichkeitsfragen ökonomische Gesichtspunkte dominieren. Diese Überlegungen aufgreifend, werden z. B. in [7] Regelungen hinsichtlich des Zuverlässigkeitsindex in Abhängigkeit vom Aufwand zur Risikominimierung bezogen auf den Instandsetzungsaufwand infolge einer Grenzzustandsüberschreitung definiert (Gl. (1)):

$$V = \frac{K_{\text{RiscM}}}{K_{\text{R}}} \quad (1)$$

mit:

V: Verhältniswert in [–]

$K_{\text{RiscM}}$ : Aufwand zur Risikominimierung

$K_{\text{R}}$ : Instandsetzungsaufwand, verursacht durch Grenzzustandsüberschreitung

Je niedriger der Verhältniswert V, desto höher der anzustrebende und damit zu fordernde Zuverlässigkeitsindex.

### Expositionsklasse XC1 (trocken):

Für Bauteile in der Expositionsklasse XC1 ist ein genauer Nachweis ausreichender Dauerhaftigkeit bezogen auf den Grenzzustand Depassivierung nicht sinnvoll. Grund hierfür ist die ausreichend belegte und auch veröffentlichte Tatsache [11] und [12], dass aufgrund der in Exposition XC1 fehlenden Umgebungsfeuchte im Anschluss an eine Depassivierung die Gefahr einer Korrosion der Bewehrung vernachlässigbar gering ist. Das heißt, die mit Überschreitung des Grenzzustands „Depassivierung“ verknüpften Konsequenzen sind tech-

nisch nicht von Relevanz, ein Nachweis ist überflüssig.

### Expositionsklasse XC3:

Ähnlich der XC1-Exposition sind in Exposition XC3 nach Depassivierung ähnlich geringe Konsequenzen hinsichtlich des Korrosionsabtrags der Bewehrung gegeben. Dies wird durch viele Beispiele (Parkhäuser), sowie durch Forschungsergebnisse belegt [11], [12]. Auch in diesen Fällen ist die Feuchtigkeit über die gesamte Lebensdauer betrachtet zu gering, um nach einer Depassivierung signifikante Korrosion verursachen zu können. Im Gegensatz zu XC1 kann hier jedoch temporär höhere Feuchtigkeit vorliegen und damit zeitweise Korrosion ermöglichen. Der Reparaturaufwand nach Grenzzustandsüberschreitung ist hier – soweit überhaupt relevant – sehr niedrig einzustufen. Damit ergibt sich ein hoher Verhältniswert nach Gl. (1). Der Nachweis gegenüber dem Grenzzustand „Depassivierung“ kann gegenüber einer „maßvoll“ angesetzten Zielzuverlässigkeit von  $\beta = 0,5$  geführt werden. Diese Zielzuverlässigkeit entspricht in etwa im Mittel den Zuverlässigkeiten, die bei Verwendung unterschiedlicher Bindemittel unter weiterer Berücksichtigung normativer Vorgaben hinsichtlich Betonzusammensetzung und Mindestbetondeckung erreicht werden können.

### Expositionsklassen XS2/XD2 und XS3/XD3:

Bei diesen Expositionsklassen können sich im Anschluss an eine Depassivierung, insbesondere bei hoher Chlorideinwirkung, relativ rasch Korrosionsschäden einstellen. Bei einer Vergleichsrechnung nach [1] ergibt sich für die Mindestanforderungen der Norm (Betondeckung, w/z-Wert, Zementgehalt) für die hinsichtlich Chlorideindringung ungünstigste Betonzusammensetzung ein Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  von deutlich unter 1,5.

Der zu erwartende Reparaturaufwand ist bei chloridinduzierter Bewehrungskorrosion i. A. als hoch einzuschätzen. Um die Depassivierung während der gesamten Nutzungsdauer allein über die Betondeckung mit hoher Zuverlässigkeit vermeiden zu können ( $\beta > 1,5$ ), ergeben sich (abhängig von der Art des Bindemittels) zum Teil unwirtschaftlich ho-

he Betondeckungsmaße. Für die Risikominimierung ergibt sich, insbesondere dann, wenn hohe Zuverlässigkeiten gefordert werden, ein hoher Aufwand. Einem hohen Aufwand zur Risikominimierung steht, zumindest bei starken Chloridbelastungen, ein ähnlich hoher Instandsetzungsaufwand gegenüber. Die Höhe des Instandsetzungsaufwands ist aber auch immer davon abhängig, wie früh ein sich anbahnender Korrosionsschaden entdeckt und instand gesetzt wird. Bei frühzeitiger Instandsetzung ist der Aufwand gering (V eher hoch,  $\beta = 0,5$ ; Festlegung analog zu XC3, bildet den mittleren Qualitätslevel ab), Maßnahmen im fortgeschrittenen Korrosionsstadium erfordern einen signifikant höheren Aufwand (V eher niedrig,  $\beta = 1,5$ ).

Aufgrund dessen wird bei diesen Expositionsclassen empfohlen, im Rahmen eines leistungsbezogenen Nachweises einer ausreichenden Dauerhaftigkeit die Mindestzuverlässigkeit gegenüber Depassivierung in Verbindung mit bestimmten Randbedingungen hinsichtlich Wartung (z. B. Inspizierbarkeit, regelmäßige Überwachung des Bauwerkszustands) projektspezifisch zu definieren. Beispielhaft wurde diese Vorgehensweise bereits durch die Forderung nach ergänzenden Schutzmaßnahmen für Parkdecks (mit oder ohne Wartungsplan) umgesetzt (siehe hierzu Hefte 525 und 526 der Schriftenreihe des DAfStb).

Diese Prinzipien werden zur Herleitung der folgenden Bewertungstafel herangezogen:

Tabelle 1. Geforderter Zuverlässigkeitsindex  $\beta_0$  zum Ende der vereinbarten techn. Lebensdauer für den Grenzzustand der Depassivierung

Expositionsklasse <sup>1)</sup>	V <sup>2)</sup>	$\beta_0$
XC1 (trocken)	$\infty$	Keine Anforderung
XC1 (ständig nass), XC2, XC4, XD1, XS1	Niedrig	$\geq 1,5$
XC3, XS3*, XD3*, XS2*, XD2*	Hoch	$\geq 0,5$

1) Expositionsclassen nach DIN 1045:2001

2) Verhältniswert nach Gl. (1)

\*) bei schwieriger Zugänglichkeit, fehlenden Inspektionen:  $\beta = 1,5$

Tabelle 1 bildet im Wesentlichen die Normvorgaben ab, die sich aus den bisherigen deskriptiven Normvorgaben für die jeweilige Expositionsclassen rechnerisch für ungünstige Betonzusammensetzungen ergeben. Die in Tabelle 1 empfohlenen Zuverlässigkeiten orientieren sich damit nicht ausschließlich an den absolut ungünstigsten derzeit nach Norm noch möglichen Zusammensetzungen. Bei leistungsbezogenen Entwurfsverfahren sind diese Zielzuverlässigkeiten für den Grenzzustand der Depassivierung mindestens nachzuweisen.

#### Literatur

- [1] Gehlen, C., Schießl, P. und Schießl-Pecka, A.: Hintergrundinformationen zum Positionspapier des DAfStb zur Umsetzung des Konzeptes von leistungsbezogenen Entwurfsverfahren unter Berücksichtigung von DIN EN 206-1, Anhang J, für dauerhaftkeitsrelevante Problemstellungen. In: Beton- und Stahlbetonbau 103 (2008), Heft 12, S. 840–851.
- [2] fib Bulletin 34: Model Code for Service Life Design. Model Code prepared by fib Task Group 5.6, February 2006, 110 Seiten.
- [3] Fagerlund, G.: (2004) A Service Life Model for Internal Frost Damage in Concrete, Report TVBM-3119, Div of Building Materials, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.
- [4] ISO 2394: General Principles on Reliability of Structures: 1998 (E).
- [5] EuroCode 1, DIN V ENV 1991: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkung auf Tragwerke, Teil 1–4.

- [6] NEN 6700, 01.04.91, Technical Principles for Building Structures, TGB 1990.
- [7] Rackwitz, R.: Zuverlässigkeitsbetrachtungen bei Verlust der Dauerhaftigkeit von Bauteilen und Bauwerken. – In: Kurzberichte aus der Bauforschung 40 (1999), Nr. 4, S. 297–301 Stuttgart: IRB, 1998. – Forschungsbericht Nr. T 284.
- [8] Ang, G. K. I. and Wyatt, D. P.: Performance Concept in the Procurement of Durability and Serviceability of Buildings. Ottawa: NRC Research Press, 1999. – In: Durability of Building Materials and Components, Proceedings of the Eight International Conference, Vancouver, May 30–June 3, 1999, (Lacasse, M. A.; Vanier, D. J. (Ed.)), Vol. 3, pp. 1821–1832.
- [9] Herman, M. H.: Building Performance Starts at Hand-Over: The Importance of Life Span Information. Ottawa: NRC Research Press, 1999. – In: Durability of Building Materials and Components, Proceedings of the Eight International Conference, Vancouver, May 30–June 3, 1999, (Lacasse, M. A.; Vanier, D. J. (Ed.)), Vol. 3, pp. 1867–1873.
- [10] DuraCrete – Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures: General Guidelines for Durability Design and Redesign. – Report No. BE95-1347/R14, 2000.
- [11] Schießl, P. and Weydert, R.: Limitation of the Water Content of Concrete as a Repair Method for Reinforcement Corrosion in Carbonated Concrete. Vol. I, pp 519–533, Michigan: American Concrete Institute, ACI SP-170, 1997 – In: Durability of Concrete. Proceedings of the Fourth CANMET/ACI International Conference, Sydney, August 1997.
- [12] Alonso, C., Andrade, C. and González, J. A.: Relation between Resistivity and Corrosion Rate of Reinforcements in Carbonated Mortar made with Several Cement Types. Cement and Concrete Research, Vol. 8, pp. 678–698, 1988.