

Die Zuverlässigkeit von Wasserbauwerken – Chlorideindringwiderstand

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 22 (2009)

Dipl.-Ing. Kai Osterminski, Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

1 Einleitung

Für die Gewährleistung bzw. Überprüfung der Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen stehen heutzutage neben den in den Regelwerken verwendeten empirischen Expositionsklassen noch probabilistische Bemessungsansätze zur Verfügung [1]. Dazu wird im Anhang J des DIN FB 100 [2] geregelt, dass eine Verwendung dieser neuen „leistungsbezogenen“ Methoden unter bestimmten Randbedingungen, u. a. Vereinbarung von Nutzungsdauer und Zuverlässigkeit des Bauwerks hinsichtlich definierter Versagensmechanismen, möglich ist. Die Zuverlässigkeiten, die für die Gewährleistung der Dauerhaftigkeit in Abhängigkeit von maßgebenden Schädigungsmechanismen (hier: Bewehrungskorrosion) benötigt werden, sind vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) in einem Positionspapier unter Wirtschaftlichkeitsaspekten aufgeführt worden [3]. Darin wird für Meerwasserbauwerke mit den zugehörigen Expositionsklassen XS2 und XS3 eine Mindestzuverlässigkeit von $\beta_0 = 0,5$ gefordert. Im Fall eines schwer zugänglichen Bauwerks, welches nicht durch Inspektionen überwacht werden kann, erhöht sich die geforderte Zuverlässigkeit auf $\beta_0 = 1,5$. Letzteres trifft auf einen Großteil aller Meerwasserbauwerke zu. Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden vollprobabilistische Dauerhaftigkeitsbemessungen hinsichtlich Chlorideindringen durchgeführt. Die Ergebnisse sollen zur Einordnung der aktuell geforderten Bautechnik, den Forderungen des Positionspapiers des DAfStb, führen. Die Aufgaben umfassen:

- **Teil A:** Die Berechnung der Zuverlässigkeit nach [1] für sechs Betonzusammensetzungen unter pessimistischen Expositionsbedingungen und
- **Teil B:** Zwecks Validierung Vergleich von Blindberechnungen von Chloridprofilen realer Meerwasserbauwerke mit nachfolgend durchgeführten Bohrmehlanalysen.

2 Untersuchungen

Nach [1] kann der Chloridgehalt von Beton wie folgt berechnet werden.

$$C(d_c, t) = (C_{s, \Delta x} - C_0) \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{d_c - \Delta x}{2 \cdot \sqrt{e^{b_c \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{IST}} \right)} \cdot D_{RCM,0} \cdot k_t \cdot \left(\frac{t_0}{t} \right)^a} \cdot t} \right) \right]$$

mit $C_{s,0(\Delta x)}$: (Ersatz-)Oberflächenchloridkonzentration [M.-%/Zement]
 C_0 : Eigenchloridgehalt des Zements [M.-%/Zement]
 $\operatorname{erf}()$: Gauss'sche Fehlerfunktion [-]
 Δx : Tiefe der Konvektionszone [mm]
 b_c : Aktivierungsenergie [K]
 T_0 : Standardtesttemperatur [K]
 T_{IST} : Temperatur am Bauwerk [K]
 $D_{RCM,0}$: Chloridmigrationskoeffizient [mm²/a]
 k_t : Transferparameter der Testmethode [-]
 t_0 : Referenzzeitpunkt [a]
 a : Alterungsexponent [-]

Mit der nachfolgenden Grenzzustandsgleichung können die Zuverlässigkeiten berechnet werden.

$$p_f = P\{C_{crit} - C(d_c, t) < 0\}$$

mit $p\{\}$: Wahrscheinlichkeit [-]
 C_{crit} : kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt [M.-%/Zement]
 $C()$: Chloridgehalt [M.-%/Zement]
 d_c : Betondeckung [mm]
 t : Zeit [a].

Die Eingangswerte für die Modellierung wurden aus Literatur entnommen oder aus Erfahrungswerten (z.B. Materialprüfung) abgeschätzt.

Zu Teil A:

Für die Berechnung der Zuverlässigkeit wurden die in der folgenden Tabelle aufgeführten sechs Betone ausgewählt.

Zement	z	f	w/(z+k·f)	LP-Gehalt
[-]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[-]	[Vol.-%]
CEM I	320	0		
32,5R	270	60		
CEM II/B-S	320	0	0,45	4,5
32,5R	270	60		
CEM III/A	320	0		
32,5N	270	60		

Als Expositionsbedingungen wurden unter Wasser liegende Bauteile und Bauteile in der Spritzwasserexposition gewählt. Die Betondeckung wurde in einer Parameterstudie mit im Mittel 60 und 70 mm angenommen.

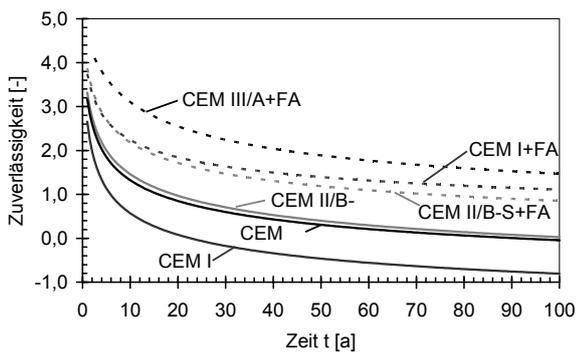
Zu Teil B:

Insgesamt wurden 13 Bauwerke (Angaben zu Betonzusammensetzung, Expositionsbedingung und Alter) ausgewählt. Für diese wurden tiefenabhängige Chloridgehalte (Mittelwert und 95%-Quantil) errechnet.

3 Ergebnisse

Zu Teil A:

Das folgende Bild zeigt beispielhaft die Ergebnisse der Zuverlässigkeitsberechnungen für eine Betondeckung von im Mittel 60 mm in Spritzwasserexposition. Darunter fasst die Tabelle alle Berechnungen der Depassivierungszeitpunkte ($\beta_0 = 1,5$) nach [3] zusammen.

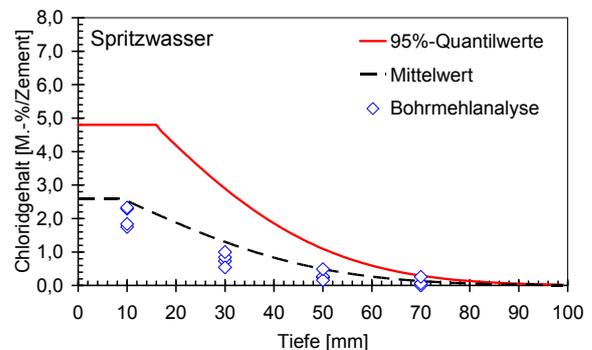
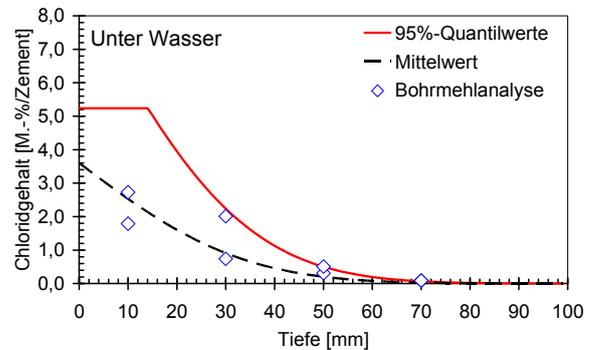


Bindemittel Betondeckung	Mögliche technische Lebensdauer [a]			
	60 mm		70 mm	
	u.W.	Spr.w.	u.W.	Spr.w.
CEM I	≈ 15	≈ 10	≈ 10	≈ 10
CEM I + FA	>50	35-45	>100	>50
CEM II/B-S	20-30	≈ 10	20-30	10-20
CEM II/B-S + FA	>50	25-35	>50	45-55
CEM III/A	≈ 25	≈ 10	20-30	10-20
CEM III/A + FA	>100	>100	>100	>100

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Betone mit Portlandzement für die Spritzwasserexposition (XS3) auszuschließen sind. Eine Erhöhung der Betondeckung auf im Mittel 70 mm ermöglicht den Einsatz von Bindemittelkombinationen mit Flugasche.

Zu Teil B:

Die nachfolgenden Bilder stellen beispielhaft den tiefenabhängigen Chloridgehalte eines Bauteils in unter Wasser Exposition und eines in Spritzwasserexposition dar.



In den Bildern ist zu erkennen, dass die nachträglich aus Bohrmehlentnahme bestimmten Chloridgehalte gut mit den modellierten übereinstimmen. Insgesamt wurden die Validität des Modells und der Modellannahmen, die auf Basis von Informationen zur Betonzusammensetzung, Betonalter und Expositionsbedingung für jedes Bauwerk/Bauteil getroffen wurden, belegt.

4 Literatur

- [1] Schießl, P. et al.: Model Code for Service Life Design. fib bulletin No. 34, Februar 2006.
- [2] DIN Fachbericht 100: Beton – Zusammenstellung von DIN EN 206 1 und DIN 1045-2. Beuth Verlag, Berlin, 2005.
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Positionspapier zur Umsetzung des Konzepts von leistungsbezogenen Entwurfsverfahren unter Berücksichtigung von DIN EN 206 1, Anhang J. Beton- und Stahlbetonbau 103 (2008), Heft 12, pp. 837-839.

Die Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) gefördert.