

# Bemessung auf Dauerhaftigkeit mit Teilsicherheitsbeiwerten

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 23 (2010)

Dipl.-Ing. Stefanie von Greve-Dierfeld, Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen

Arbeitsgruppe 3: Stahl und Korrosion

## 1 Einleitung

Mit Einführung der europäischen Betonnorm EN 206-1 und der deutschen Anwendungsregel DIN 1045-2 im Jahr 2000 fand der Aspekt nach Dauerhaftigkeit prominenten, direkten Eingang in die Normung. Dabei werden z.B. folgende Anforderungen gestellt:

„Ein Tragwerk ist so zu planen und auszuführen, dass es ... in der vorgesehenen Nutzungszeit mit angemessener Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit den möglichen Einwirkungen und Einflüssen standhält und die geforderten Gebrauchseigenschaften behält.“

Um diesen Anforderungen gerecht werden zu können, ist eine Bemessung (ein Nachweis) erforderlich.

## 2 Untersuchungen

Während für außergewöhnliche Bauwerke die Bemessung auf Dauerhaftigkeit im Ersatzgrenzzustand „Depassivierung“ bereits auf vollprobabilistischer Basis durchgeführt wird und etabliert ist, war ein Ziel des Forschungsvorhabens, ein Bemessungskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten zu entwickeln, um auch eine Bemessung mit einfachen Mitteln/Handrechnung zu erlauben.

## 3 Vorgehensweise und Ergebnisse

Zur Erstellung eines Bemessungsformats mit Teilsicherheitsbeiwerten sind sechs Teilschritte durchzuführen:

- 1) Festlegung des Geltungsbereichs, des Versagensmechanismus und Zusammenstellung der Modellparameter
- 2) Festlegung des Bemessungsziels
- 3) Zusammenstellung der Bemessungssituationen
- 4) Wahl von Anzahl und Anordnung der Teilsicherheitsbeiwerte (PSF), Festlegung der Bemessungsvariable → „Codeformat“
- 5) Ermittlung und Optimierung der Teilsicherheitsbeiwerte
- 6) Verifizierung, d.h. Ermittlung des erzielten Zuverlässigkeitsspektrums.

Zu 1) Festlegung des Geltungsbereichs, des Versagensmechanismus und Zusammenstellung der Modellparameter:

Geltungsbereich ist Deutschland mit den üblichen Klima- und Witterungsbedingungen. Als Schädigungsmodell wird hier das Eindringen von Chlorid

$$C(x, t) = C_{s, \Delta x} \cdot \left[ 1 - \operatorname{erf} \frac{x - \Delta x}{2 \cdot \sqrt{D_{\text{eff}, C} \cdot t}} \right]$$

mit der zugehörigen Grenzzustandsgleichung betrachtet.

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

$C_{\text{crit}}$  Kritischer Chloridgehalt [M.-%/Zement]

$C(x, t)$  Chloridgehalt des Betons in der Tiefe  $x$  zum Zeitpunkt  $t$  [M.-%/Zementgehalt]

$D_{\text{eff}, C}$  Effektiver Chloriddiffusionskoeffizient von Beton zum Zeitpunkt  $t$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] als Funktion von  $k_e$ ,  $k_t$ ,  $t$ ,  $t_0$  und  $a$  [1]

$C_s$  Chloridkonzentration an der Betonoberfläche [M.-%/Zementgehalt]

$x$  Tiefe [m]

$t$  Betonalter [s]

erf Fehlerfunktion

$C_{s, \Delta x}$  Chloridkonzentration in der Tiefe  $\Delta x$  [M.-%/Zement]

$\Delta x$  Tiefenbereich, in dem die Chloridkonzentrationen vom Fick'schen Verhalten abweichen [m]

$d_c$  Betondeckung [mm]

Zu 2) Festlegung des Bemessungsziels:

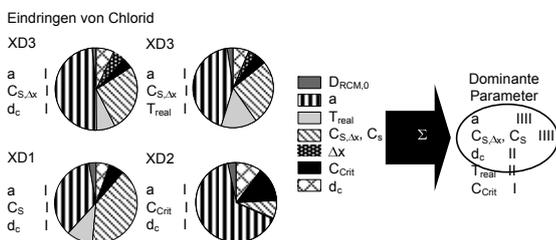
Es wurden Zielzuverlässigkeiten zwischen 0,5 und 1,5 bezogen auf eine Nutzungsdauer von 50 und 100 Jahren, in Abhängigkeit der Versagensfolgen und Kosten zur Erhöhung der Zuverlässigkeit sowie in Anlehnung an Zuverlässigkeiten, welche sich nach Anwendung der deskriptiven Regeln „Best practice“ ergeben, gewählt.

Zu 3) Zusammenstellung der Bemessungssituationen:

Bemessungssituationen wurden so gewählt, dass der gesamte Anwendungsbereich abgedeckt wurde. Ferner wurden häufiger auftretende Bemessungssituationen stärker gewichtet.

Zu 4) Wahl von Anzahl und Anordnung der Teilsicherheitsbeiwerte (PSF), Festlegung der Bemessungsvariable → „Codeformat“:

Als Bemessungsvariable wurde die Betondeckung gewählt, da diese nahezu stufenlos einstellbar ist. Um eine praktikable Anwendung zu gewähren, sollten die Teilsicherheitsbeiwerte so generell wie möglich angesetzt werden. Für eine wirtschaftliche Bemessung sollten Last-, Widerstands- und Geometrieparameter unabhängig voneinander sein. Durch Sensitivitätsanalysen wurden dann die an der Versagenswahrscheinlichkeit maßgebend beteiligten Modellparameter identifiziert und für diese Teilsicherheitsbeiwerte abgeleitet.



Dies geschah immer unter der Voraussetzung, dass jeweils ein Teilsicherheitsbeiwert für einen Last-, einen Material- und einen Geometrieparameter gewählt wurde.

Zu 5) Ermittlung und Optimierung der Teilsicherheitsbeiwerte:

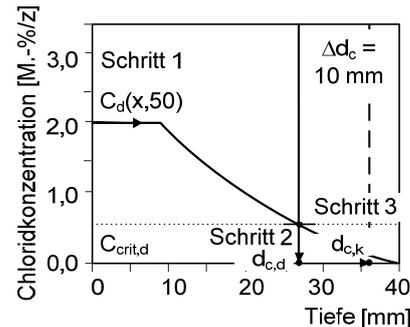
Durch Anpassung der Betondeckung in vollprobabilistischen Berechnungen wurden für jede Bemessungssituation Teilsicherheitsbeiwerte entwickelt. Diese wurden dann so optimiert, dass die Zuverlässigkeit bei Anwendung der Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten zum Einen stets größer der Zielzuverlässigkeit ist und zum Anderen das Zuverlässigkeitsspektrum möglichst eng begrenzt ist. Als Ergebnis wurden z.B. für die Exposition XD3 folgende Teilsicherheitsbeiwerte für eine Zielzuverlässigkeit  $\beta_{Ziel}=0,5$  ermittelt.

	Alters-exponent a	Ersatzoberflächenkonzentration $C_{s,\Delta x}$	Beton-deckung $d_c$
PSF	$\gamma_a = 1,1$	$\gamma_{Cs/Cs,\Delta x} = 1,2$	$\Delta d_c = 10$ mm

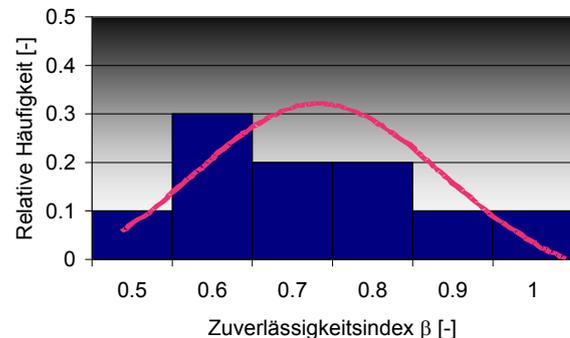
Zu 6) Verifizierung, d.h. Ermittlung des erzielten Zuverlässigkeitsspektrums:

Zur Verifizierung wurden diverse Bemessungssituationen mit den o.g. Teilsicherheitsbeiwerten bemessen.

Hierzu werden die charakteristischen Werte (hier: Mittelwerte) der Modellkenngrößen in Kombination mit den Teilsicherheitsbeiwerten angesetzt und das Chloridprofil berechnet (Schritt 1). Die Tiefe mit einem Chloridgehalt entsprechend dem kritischen Chloridgehalt ergibt die Bemessungsbetondeckung (Schritt 2). Wird diese dann um den Teilsicherheitsbeiwert erhöht, erhält man schließlich die charakteristische Betondeckung (Schritt 3).



Anschließend wurden in vollprobabilistischen Berechnungen die erzielten Zuverlässigkeiten berechnet. Die Verteilung der so erzielten Zuverlässigkeiten ist als relative Häufigkeit mit angepasster Dichtefunktion dargestellt (XD3).



#### 4 Zusammenfassung

Das für die Bemessung auf Dauerhaftigkeit entwickelte Bemessungskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten erlaubt nun eine mit geringem Rechenaufwand durchführbare, sichere und zugleich wirtschaftliche Bemessung.

Diese Studie war Teil des Forschungsprojekts „Bemessung auf Dauerhaftigkeit mit Teilsicherheitsbeiwerten bzw. mit qualifiziert abgesicherten deskriptiven Regeln einschließlich dazugehörigem Benchmark mit britischen und deutschen Regeln“, gefördert vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton.