

Lebensdauersimulation von Stahlbetonbauteilen auf der Grundlage von Schädigungsprognosen

Life-cycle Simulation of RC Structures Based on Deterioration Prognoses

Empelmann, Martin; Siegert, Corinna

Abstract

Structures must be reliable throughout their whole life-cycle. Due to their exposure to varying environmental influences, their reliability decreases with time. The demonstrated probabilistic life-cycle simulation is based on the ultimate limit state and considers advancing reinforcement corrosion. It contributes to a life-cycle design that enables the validation of the reliability of the structure's bearing capacity over the entire life-cycle. Moreover, it features a high flexibility, which allows for example the design for varying lifespans as well as material optimization which does not only consider the initiation stage but also the propagation stage of corrosion.

1 Einführung

Tragwerke müssen während ihrer gesamten Nutzung zuverlässig sein. Da sie diversen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, nimmt die Zuverlässigkeit über die Zeit ab, womit ihre Nutzungsdauer begrenzt ist. Aktuell wird die Dauerhaftigkeit eines Stahlbetonbauteils meist über das Einhalten von deskriptiven Regeln nach DIN 1045-1 /3/ sichergestellt. Bei einigen bedeutenden Projekten wurde der Grenzzustand „Depassivierung der Bewehrung“ nach einem Positionspapier des DAfStb /1/ ausgewertet. Für beide Vorgehensweisen gilt, dass die Zuverlässigkeit der Tragfähigkeit des Tragwerks am Ende der Lebensdauer unbekannt ist. Daher wurde am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Fachgebiet Massivbau, der TU Braunschweig eine alternative probabilistische Lebensdauersimulationen entwickelt, die auf dem Grenzzustand der Tragfähigkeit basiert und fortschreitende Bewehrungskorrosion berücksichtigt.

2 Schädigungsprozess

In Stahlbetonbauteilen ist die Bewehrung durch eine Passivschicht vor Korrosion geschützt. Diese Passivschicht ist z. B. durch Karbonatisierung oder Eindringen von Chloriden zerstörbar, so dass bei Vorhandensein von Wasser und Sauerstoff der Stahl korrodieren kann. Primäre Folge von Bewehrungskorrosion ist der Querschnittsverlust des Stahls. Sekundäre Folgen können Rissbildungen und Abplatzungen sein, welche durch den Expansionsdruck der Korrosionsprodukte hervorgerufen

werden. Mögliche Versagenspfade aufgrund von Bewehrungskorrosion sind in Bild 1 dargestellt.

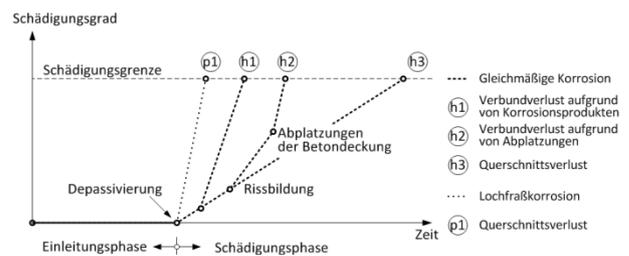


BILD 1 Versagenspfade infolge von Bewehrungskorrosion

3 Lebensdauersimulation

Die Grundlage der entwickelten Lebensdauersimulation bildet folgende Grenzzustandsgleichung:

$$G(t) = R(t) - E(t) \quad (1)$$

mit $R(t)$ = zeitabhängige Tragfähigkeit
 $E(t)$ = Einwirkung.

Zur Modellierung zeitabhängiger Tragfähigkeiten aufgrund von Korrosion werden prädiktive Schädigungsmodelle für die Einleitungsphase nach /4/ und für die Schädigungsphase nach /5/ und /1/ vorgeschlagen. Mögliche Zeitabhängigkeiten von Einwirkungen können über Extremwertverteilungen berücksichtigt werden. Das Ende der Nutzungsdauer ist erreicht, wenn der Widerstand der Einwirkung entspricht (Bild 2), d. h. im vollprobabilistischen Zusammenhang, dass der mithilfe der Gleichung (1) berechnete Zuverlässigkeitsindex β dem Zielzuverlässigkeitsindex β_t gleicht.

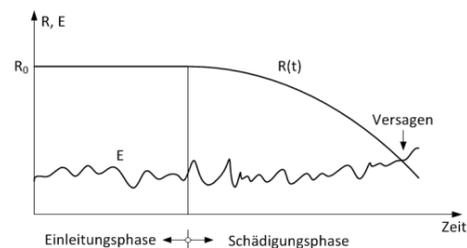


BILD 2 Zeitabhängige Zuverlässigkeit

4 Beispiel

Für die in Bild 3 dargestellte Stütze einer Lärmschutzwand wurde eine Lebensdauersimulation durchgeführt. Die Struktur ist sowohl Windkräften als auch Tausalzen von der angrenzenden Autobahn ausgesetzt. Sie ist nach gültigen Normen bemessen.

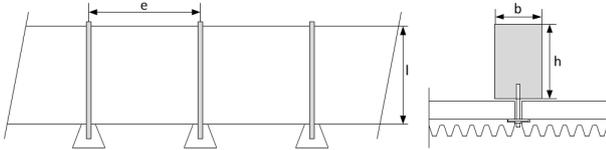


BILD 3 Längs- und Querschnitt der Lärmschutzwand

Der untersuchte Grenzzustand zur Lebensdauersimulation ist der Grenzzustand der Biegetragfähigkeit. Aufgrund der hohen Chloridbeaufschlagung gilt der Versagenspfad der chloridinduzierten Korrosion. Die entsprechende Grenzzustandsgleichung lautet:

$$G_M(t) = R_M(t) - E_M \quad (2)$$

Mit:

$$R_M(t) = \left[A_s(t) \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{A_s(t) \cdot f_y \cdot k_a}{b \cdot 0,85 \cdot f_c \cdot \alpha_c} \right) \right] \cdot \theta_{R,M} \quad (3)$$

$$A_s(t) = n \cdot \frac{\pi \cdot (d_s - p(t))^2}{4} \quad (4)$$

$$p(t) = \begin{cases} 0 & t \leq t_{ini} \\ \int_{t_{ini}}^t V_{corr} \cdot \alpha \cdot dt & t > t_{ini} \end{cases} \quad (5)$$

Zur Modellierung des Schädigungsfortschritts wurde zum einen die Korrosionsrate in Abhängigkeit der Expositionsklassen $V_{corr,expo}$ und zum anderen die empirisch bestimmte Korrosionsrate $V_{corr,emp}$ (beide nach Lay & Schießl /5/) verwendet. Der zeitabhängige Zuverlässigkeitsindex für beide Fälle ist in Bild 4 dargestellt. Zum Vergleich ist die Lebensdauersimulation der Stütze nach Gehlen /4/ abgebildet.

Es ergibt sich, trotz einer deterministisch betrachteten verhältnismäßig langen Initiierungszeit, ein schneller Abfall des Zuverlässigkeitsindex. Die wesentlichen Gründe hierfür sind die Streuung der Initiierungszeit sowie der Korrosionsrate. Ohne zusätzliche Messungen oder Instandsetzungsmaßnahmen ist bei einem angesetzten Zielzuverlässigkeitsindex von $\beta_t = 3,8$ auf der Grundlage der gezeigten Lebensdauersimulation eine Lebensdauer von 8 bzw. 14 Jahren prognostizierbar. Mithilfe der empirischen Korrosionsrate ergibt sich eine verlängerte Lebensdauer, da diese die tatsächlich vorherrschenden Umweltbedingungen berücksichtigt und nicht in Abhän-

gigkeit von Expositionsklassen und somit auf der sicheren Seite definiert ist /6/.

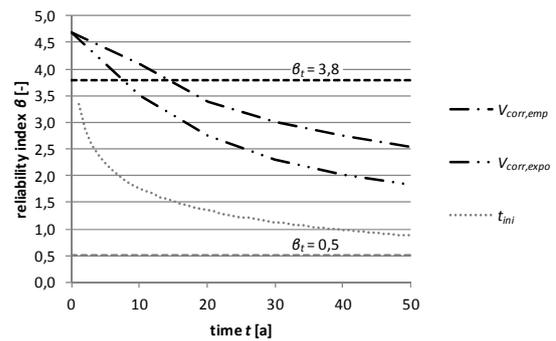


BILD 4 Lebensdauersimulation der Lärmschutzwand

Parameterstudien zum Einfluss der Bindemittelart ergeben, dass die Bindemittelart einen maßgebenden Einfluss auf die prognostizierbare Lebensdauer hat. Dies gilt insbesondere für Lebensdauersimulationen, in welchen der Einfluss des Elektrolytwiderstands des Betons und somit die Schädigungsphase Berücksichtigung findet /6/.

5 Literatur

- /1/ CONTECVET: A VALIDATED USERS MANUAL FOR ASSESSING THE RESIDUAL SERVICE LIFE OF CONCRETE STRUCTURES. MANUAL FOR ASSESSING CORROSION-AFFECTED CONCRETE STRUCTURES, 2002.
- /2/ DAfStB: POSITIONSPAPIER DES DAfStB ZUR UMSETZUNG DES KONZEPTE VON LEISTUNGSBEZOGENEN ENTWURFSVERFAHREN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON DIN EN 206-1, ANHANG J. IN: BETON- UND STAHLBETONBAU, JG. 103, H. 12, S. 837-839, 2008.
- /3/ DIN 1045-1: TRAGWERKE AUS BETON, STAHLBETON UND SPANNBETON – TEIL 1: BEMESSUNG UND KONSTRUKTION. BERLIN: BEUTH, 2008.
- /4/ GEHLEN, C.: PROBABILISTISCHE LEBENSDAUERBEMESSUNG VON STAHLBETONBAUWERKEN. ZUVERLÄSSIGKEITSBETRACHTUNGEN ZUR WIRKSAMEN VERMEIDUNG VON BEWEHRUNGSKORROSION. BERLIN: BEUTH, 2000.
- /5/ LAY, S. & SCHIEßL, P. 2004: LIFECON DELIVERABLE D 3.2 – SERVICE LIFE MODELS.
- /6/ SIEGERT, C.; EMPERMANN, M.: LIFE-CYCLE DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES UNDER CONSIDERATION OF ADVANCING REINFORCEMENT CORROSION, IALCCE 2012.