

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Mayer, Tobias; Gehlen, Christoph

Dauerhaftigkeitsbewertung bestehender Bauwerke

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102115>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Mayer, Tobias; Gehlen, Christoph (2010): Dauerhaftigkeitsbewertung bestehender Bauwerke. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Erhaltung von Wasserbauwerken und Brücken. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 65-68.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Dr.-Ing. T. Mayer, Ing.-Büro Schießl Gehlen Sodeikat, München

Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen, Centrum Baustoffe und Materialprüfung, TU München

Dauerhaftigkeitsbewertung bestehender Bauwerke

1. Hintergrund

Die Dauerhaftigkeitsbemessung von Stahlbetonbauwerken erfolgt entsprechend der aktuellen Norm anhand von deskriptiven Vorgaben zu Betonzusammensetzung und Betondeckung, die im Wesentlichen historisch aus Erfahrungswerten gewachsen sind. In vielen Fällen führt diese Bemessung zu vergleichsweise unwirtschaftlichen Bemessungen, andererseits können bei pessimistischen Randbedingungen auch Bauwerke geplant und ausgeführt werden, deren Zuverlässigkeit deutlich unterhalb des geforderten Zuverlässigkeitsniveau liegt. Fortschritte in der Modellierung von Schädigungsmechanismen erlauben heute eine zuverlässige und wirtschaftliche Dauerhaftigkeitsbemessung unter Berücksichtigung der tatsächlichen Umwelteinwirkungen und Materialeigenschaften. Die BAW hat diesen Entwicklungen als erster institutioneller Bauherr Rechnung getragen, indem sie in der aktuellen Fassung der ZTV-LB 215 neben den bekannten Anforderungen an die Betonzusammensetzung auch Vorgaben hinsichtlich der einzuhaltenden Chloridmigrationskoeffizienten formuliert hat, die unmittelbar aus Dauerhaftigkeitsbemessungen für unterschiedliche Expositionen abgeleitet wurden. Doch nicht nur für die Bemessung von Neubauprojekten, sondern auch für die Zustandsbewertung bestehender Bauwerke können Dauerhaftigkeitsbemessungen als wertvolles Werkzeug genutzt werden.

2. Grundlagen der Dauerhaftigkeitsbemessung

2.1 Nachweiskonzept der Dauerhaftigkeitsbemessung

Die Dauerhaftigkeitsbemessung baut gleich der Lastbemessung auf einem Sicherheitskonzept auf, bei dem durch die Gegenüberstellung von (Last- bzw. Umwelt-)Einwirkungen und Bauteilwiderständen eine Bauteilzuverlässigkeit berechnet und mit dem geforderten Zuverlässigkeitsniveau verglichen wird. Sowohl Last- als auch Dauerhaftigkeitsbemessung werden probabilistisch durchgeführt, d.h., Einwirkungs- und Widerstandsparameter werden nicht als deterministische Größen, sondern als streuende Größen mit Mittelwert und Standardabweichung quantifiziert. Die Zuverlässigkeit Z ergibt sich in diesem Fall als Differenz aus Widerstand R und Einwirkung S zu $Z = R - S$. Da Widerstand und Einwirkung jeweils einer stochastischen Verteilung folgen, ist auch die Zuverlässigkeit eine streuende Größe, die durch den Erwartungswert der Zuverlässigkeit μ_Z und die Standardabweichung der Zuverlässigkeit σ_Z beschrieben werden kann. Für die Bewertung der Zuverlässigkeit von Bauwerken hat sich als Kenngröße der so genannte Zuverlässigkeitsindex β etabliert, der sich als Quotient aus μ_Z und σ_Z ergibt. Für den Zuverlässigkeitsindex werden – in Abhängigkeit vom betrachteten Grenzzustand – in den entsprechenden Regelwerken Grenzwerte vorgegeben, bei deren Einhaltung von einer ausreichenden Zuverlässigkeit ausgegangen werden kann.

Der wesentliche Unterschied zwischen der probabilistischen Lastbemessung und der Dauerhaftigkeitsbemessung besteht darin, dass sowohl die Transportmechanismen, die einer möglichen Schädigung vorausgehen, als auch die Bauteilwiderstände, die dieser entgegenwirken, in ho-

hem Maße zeitabhängig sind. Das bedeutet, dass zusätzlich Modelle zur Beschreibung der zeitabhängigen Schädigung benötigt werden. Für zwei zentrale Schädigungsmechanismen, die chloridinduzierte und die carbonatisierungsinduzierte Bewehrungskorrosion, werden diese im Folgenden kurz erläutert.

2.2 Modellierung von Bewehrungskorrosion

Stahl in Beton ist aufgrund des hochalkalischen Milieus des Betons zunächst vor Korrosion geschützt, da sich auf der Stahloberfläche ein so genannter Passivfilm ausbildet, der eine weitergehende Eisenauflösung unterbindet. Korrosion der Bewehrung kann demnach erst einsetzen, wenn dieser Passivfilm lokal (durch Chlorideindringen) oder großflächig (durch Carbonatisierung des Betons) zerstört wird. Der Verlust der Passivität des Stahls wird als Depassivierung bezeichnet. Aufgrund der Komplexität der anschließenden Korrosionsphase beschränkt sich die Modellierung auf die Transportprozesse bis zur Depassivierung der Bewehrung. Da sowohl die Carbonatisierung des Betons als auch das Eindringen von Chlorid diffusionsgesteuerte Transportprozesse sind, werden für beide Mechanismen Modelle verwendet, die auf den Fick'schen Diffusionsgesetzen beruhen. Eine ausführliche Beschreibung der Modelle enthält z.B. /1/. Der Grenzzustand der Depassivierung ist erreicht, wenn die Carbonatisierungstiefe bzw. die Eindringtiefe des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalts die Betondeckung überschreitet. Übliche Zuverlässigkeitsindizes, die zum Ende der geplanten Nutzungsdauer erreicht werden sollen, liegen – in Abhängigkeit von der Exposition – zwischen $\beta = 0,5$ und $\beta = 1,5$.

2.3 Verifizierung der Modelle anhand von Bauwerksuntersuchungen

Die Eignung des Chloridtransportmodells zur Dauerhaftigkeitsbemessung von Wasserbauwerken in der Wasserwechsel- und Spritzwasserzone wurde im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsvorhabens der BAW und des cbm der TU München überprüft /2/. Zu diesem Zweck wurden für bestehende Wasserbauwerke anhand von Daten zur Betonzusammensetzung und den Expositionsbedingungen Chloridprofile für die Nutzungsdauer berechnet und anschließend mit tatsächlichen Profilen aus Bauwerksuntersuchungen verglichen. Die berechneten Chloridverteilungen zeigen insgesamt eine sehr gute Übereinstimmung mit den am Bauwerk ermittelten Profilen, Bild 1. Gleichzeitig belegen die Streuungen der Chloridgehalte am Bauwerk die Notwendigkeit probabilistischer Ansätze zur Beschreibung des Chlorideindringprozesses.

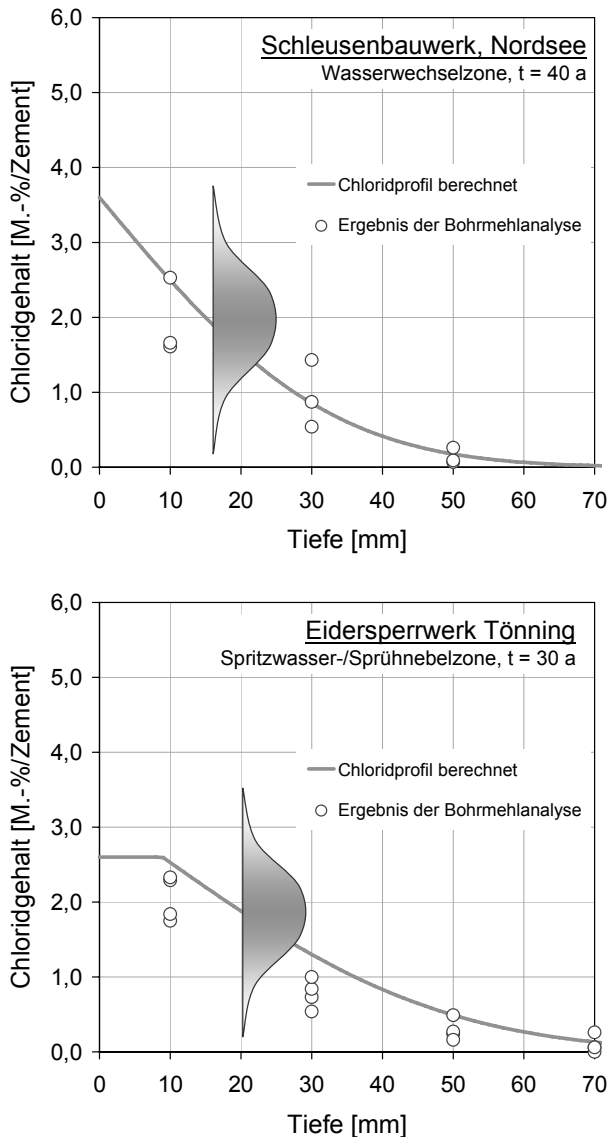


Bild 1: Vergleich berechneter und gemessener Chloridprofile von Wasserbauwerken /2/

3. Anwendung der Dauerhaftigkeitsbemessung zur Bewertung bestehender Bauwerke

Die Anwendung der Dauerhaftigkeitsbemessung beschränkt sich nicht auf die Planung neuer Bauwerke. Sie kann z.B. auch herangezogen werden, um die Auswirkungen möglicher Abweichungen von der Planung während der Ausführung (z.B. zu geringe Betondeckungen oder abweichende Betonzusammensetzung) auf die Dauerhaftigkeit zu bewerten. Besonders effizient können Dauerhaftigkeitsbemessungen in Verbindung mit den Ergebnissen zerstörungsfreier Bauwerksuntersuchungen zur Bewertung von bestehenden Bauwerken eingesetzt werden. Die Inspektionsdaten (z.B. Betondeckungen, Chloridprofile, Carbonatisierungstiefen) werden dabei als Randbedingung zum Update der Dauerhaftigkeitsbemessung herangezogen, wodurch die Modell- und Parameterunsicherheiten deutlich reduziert und die Prognosegenauigkeit signifikant erhöht werden kann. Dadurch ist es möglich, auch für ältere Bauwerke, für die nur vergleichsweise wenige Informationen aus der Planungsphase existieren, anhand weniger Inspek-

tionsdaten eine zuverlässige Prognose der zukünftigen Zustandsentwicklung zu treffen und einen möglichen Instandsetzungsbedarf zu identifizieren.

Die Vorgehensweise soll im Folgenden am Beispiel eines 20 Jahre alten Turmbauwerks erläutert werden, dessen Außenflächen hinsichtlich der Gefahr carbonatisierungsinduzierter Bewehrungskorrosion bewertet werden sollen. Zu diesem Zweck wurden Carbonatisierungstiefenmessungen in unterschiedlichen Höhen des Bauwerks durchgeführt. Die Häufigkeitsverteilung der gemessenen und der berechneten Carbonatisierungstiefen zum Zeitpunkt der Inspektion t_{ins} ist in Bild 2 links dargestellt /3/. Die tatsächliche Carbonatisierungstiefe $x_{c,\text{act}}$ kann durch eine stochastische Verteilung beschrieben werden, die offensichtlich sowohl einen geringeren Mittelwert, als auch eine geringere Streuung als die berechnete Carbonatisierungstiefe besitzt. Wird nun die gemessene Carbonatisierungstiefe als Randbedingung in der Form $x_c(t_{\text{ins}}) = x_{\text{act}}$ in das probabilistische Update eingeführt, ergibt sich die in Bild 2 rechts dargestellte Verschiebung des Zuverlässigkeitsindex. Offensichtlich führt die Berücksichtigung von Untersuchungsdaten in diesem Fall zu einer Zunahme der Zuverlässigkeit des betrachteten Turmbauwerks gegenüber der ursprünglichen Dauerhaftigkeitsprognose ohne Inspektionsdaten.

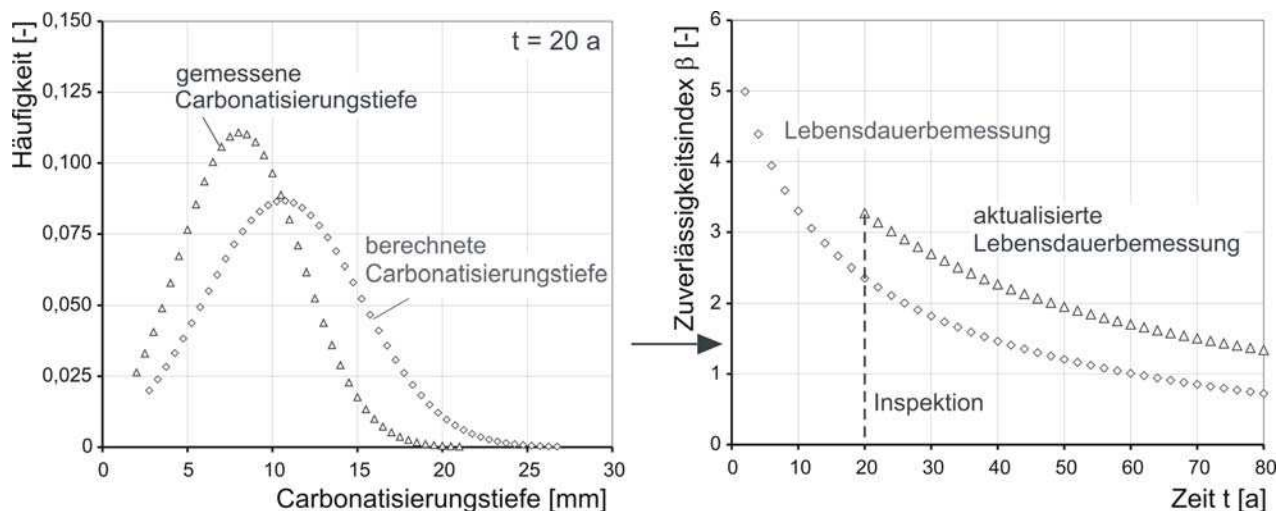


Bild 2: Zuschärfung der Dauerhaftigkeitsprognose durch Carbonatisierungstiefenmessungen /3/

4. Literatur

- /1/ Gehlen, Ch.: Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken - Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur wirksamen Vermeidung von Bewehrungskorrosion. DAfStb Heft 510, Beuth Verlag, Berlin, Dezember 2000.
- /2/ Forschungsbericht 30-F-0019 „Zuverlässigkeit Wasserbauwerke – Chlorideindringwiderstand“. BAW/Centrum Baustoffe und Materialprüfung, TU München, 2009.
- /3/ Schießl, P.; Mayer, T.F.: Lebensdauermanagement. In: Heft 572 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Beuth-Verlag, Berlin, 2007.