

Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt – Positionspapier des DAfStb zum aktuellen Stand der Technik

Stand: 08. Oktober 2015

Dringen Chloride aus Tausalzen oder Meerwasser in Stahlbeton- und Spannbetonbauteile ein, kann es ab einem bestimmten Chloridgehalt im Beton zur Zerstörung der schützenden Passivschicht des Bewehrungsstahls kommen. Als Folge der Depassivierung der Bewehrung beginnt ein aktiver Korrosionsprozess mit den bekannten unerwünschten Folgen. Der Grenzwert der Chloridbelastung im Beton auf Höhe der Bewehrung, bei dem der Stahl depassiviert und somit der aktive Korrosionsprozess initiiert wird, wird in diesem Zusammenhang als „kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt“ bezeichnet. Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Betonstahlbewehrung.

In der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (RL SIB) [1]“ findet sich keine Angabe zu einem „kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt“. Die Richtlinie enthält lediglich einen „Schwellenwert“ für den Chloridgehalt von 0,5 M.-%, bezogen auf die Zementmasse. Dort heißt es, dass „zur Beurteilung der erforderlichen Maßnahmen ein sachkundiger Planer einzuschalten ist“, wenn der Chloridgehalt in der Betondeckung bzw. im Bereich der Bewehrungslage einen Wert von 0,5 M.-%, bezogen auf die Zementmasse, überschreitet. Dieser Schwellenwert ist von dem kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt insofern abzugrenzen, dass bei dessen Überschreitung nicht notwendigerweise der kritische Grenzzustand der Depassivierung eintritt, sondern lediglich eine Ereigniskette, nämlich eine Begutachtung durch den sachkundigen Planer mit gegebenenfalls anschließenden Maßnahmen, in Gang gesetzt wird. Auch im Zuge der derzeitigen Überarbeitung der Richtlinie wird dieser untere Schwellenwert nach dem jetzigen Stand beibehalten.

Sowohl Forschungsergebnisse als auch praktische Erfahrungswerte deuten gleichermaßen darauf hin, dass die Festlegung des Schwellenwertes auf 0,5 M.-% deutlich auf der sicheren Seite liegt. Es ist erwiesen, dass in vielen Bauwerken, wie auch bei Prüfkörpern in Forschungsreihen, Chloridgehalte von z. T. deutlich über 1,0 M.-%, bezogen auf die Zementmasse, keine aktive Korrosion am Betonstahl auslösen (s. z. B. [3] und [4]). Zwar unterliegt der kritische Chloridgehalt aufgrund einer großen Anzahl von maßgeblichen Einflussparametern starken Schwankungen, jedoch sind keine konkreten, veröffentlichten Fälle bekannt, bei denen unter üblichen, praxisgerechten Randbedingungen ohne grobe Herstellungsfehler eine Bewehrungskorrosion bei zweifelsfrei ermittelten Chloridgehalten zwischen 0,1 M.-% und 0,4 M.-% auf Höhe der Bewehrung, bezogen auf die Zementmasse, stattfindet. Es tauchen zwar in der Literatur bei verschiedenen, älteren Untersuchungen im Labor oder am Bauwerk Chloridwerte in diesem Bereich auf, diese sind jedoch größtenteils schwierig zu bewerten, da exakte Angaben zur Probenahme, zu Messverfahren und Analysemethoden, zur Umrechnung auf den Zementgehalt, o. ä. in vielen Fällen nur teilweise oder gar nicht vorliegen. Einige Angaben zum kritischen Chloridgehalt aus der Literatur können nicht als Ergebnisse von strukturierten, wissenschaftlichen Untersuchungen angesehen werden, sodass die Relevanz der angegebenen Ergebnisse anzuzweifeln ist. Andere Untersuchungen weichen klar von praxisnahen Bedingungen ab. Dabei können Einflüsse aus hohen Streuströmen, aus der

Verwendung von reinen Mörtelproben oder aus dem Zugeben von Chloriden zum Anmischwasser letztlich nicht genau eingeschätzt und beurteilt werden.

Bei heutigen Betonen mit einem erweiterten Angebot an Bindemitteln und Zusatzstoffen, die nach XD2 und XD3-Anforderungen hergestellt werden, ist die Betonqualität im Vergleich zu Betonen aus den 1970er- und 1980er-Jahren derart erhöht, dass diese hinsichtlich des kritischen Chloridgehaltes klar voneinander abgegrenzt werden müssen.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden zahlreiche Untersuchungen zum kritischen Chloridgehalt durchgeführt. Diese wurden durch umfangreiche Literatursichtungen von einer Vielzahl an Autoren zusammenfassend aufgeführt, wobei nachweislich deutliche Divergenzen zwischen den Untersuchungsergebnissen zu verzeichnen sind (s. z. B. [2]). Bei der Bewertung der Gesamtheit dieser Untersuchungen ist deshalb besonderes Augenmerk auf die jeweiligen Versuchsparameter und objektspezifischen Randbedingungen zu legen, denn es bestehen teilweise große Unterschiede in Versuchsaufbauten oder Prüfverfahren. Es existieren dabei viele Versuchsparameter, die sich in den vorliegenden Forschungsarbeiten grundlegend voneinander unterscheiden, wodurch die einzelnen Ergebnisse teilweise prinzipiell als „absolut nicht vergleichbar“ einzustufen sind. Hierzu gehören u. a.

- die Festlegung von Art und Größe der verfügbaren Kathodenflächen,
- die Unterscheidung von Lösungsversuchen und Versuchen mit Stahlbetonprüfkörpern,
- die Option eines äußeren Eingriffs auf das elektrochemische System durch Polarisation oder potentiostatische Kontrolle,
- die verwendeten Bindemittel und Betonzusammensetzungen,
- die Beton- und Kontaktzonenqualität,
- die Stahlpräparation (gerippt unbehandelt, glatt, poliert, ...),
- das Grenzkriterium bezüglich Depassivierung und Korrosionsstart bei der Messung sowie
- die Methodik der Ermittlung des Chloridgehaltes.

Unter praxisnahen Randbedingungen mit vollständigen und zweifelsfreien Angaben zum Untersuchungsablauf wurden bei der Analyse des Gesamtchloridgehaltes an Bohr- oder Schleifmehlproben fast ausschließlich kritische Werte $> 0,5$ M.-%, bezogen auf die Zementmasse, ermittelt. Die wenigen, einzelnen Ausnahmen lagen dabei im Bereich zwischen 0,4 M.-% und 0,5 M.-%, bezogen auf die Zementmasse [5], wobei viele neuere Forschungsergebnisse, gerade bei Betonen, die die Anforderungen aus der Expositionsklasse XD3 erfüllen, deutlich höhere kritische Chloridgehalte aufwiesen. So liefern z. B. aktuelle Untersuchungen an XD3-Betonen zum Einfluss einer äußeren, anodischen Polarisation korrosionsauslösende Chloridgehalte zwischen 0,9 M.-% und 1,8 M.-%, bezogen auf die Zementmasse [3]. Die Polarisationshöhe scheint nach den bisherigen Ergebnissen keinen großen Einfluss zu haben. Im Jahr 2010 führten Untersuchungen zum Einfluss der Kontaktzonenqualität zu ähnlichen Ergebnissen. Es stellten sich kritische Chloridwerte zwischen 0,5 M.-% und 2,1 M.-%, bezogen auf die Zementmasse, ein, wobei sich im Mittel ein Wert von ca. 1,2 M.-% ergab [4].

Die Definition des Begriffs „kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt“ gilt zunächst einmal nur für den fehlerstellenfreien Beton und nicht im Bereich von Rissen. Aus der Praxis sind keine relevanten Fälle bekannt, bei denen bei einem fachgerecht zusammengesetzten, eingebrachten und verdichteten Beton Betonstahlkorrosion bei einem Chloridgehalt $< 0,4$ M.-%, bezogen auf die Zementmasse, auf Höhe der Bewehrung festgestellt wurde. Widersprüchliche Feststellungen sind nach Breit et al. [6] lediglich in Fällen aufgetreten, bei denen die Betonentnahmestelle zur Chloridanalyse nicht mit der Stelle der Korrosionsinitiierung übereinstimmte, maßgebliche Angaben fehlten oder wenn mindestens eine der folgenden Randbedingungen erfüllt ist:

- Betondeckung < 15 mm bzw. Abstand der Karbonatisierungsfront zur Bewehrung < 5 mm,
- erhöhte Porosität oder Kiesnester im Beton,
- verstärkte Auslaugung des Betons,
- verstärkte Polarisierung des Stahls, z. B. infolge von Streuströmen, ausgelöst durch Straßenbahnen o. ä.,
- gerissener Beton.

Die Erfahrung zeigt also, dass bei einem fachgerecht hergestellten und eingebauten Beton und unter gewöhnlichen Randbedingungen der Ansatz des aktuellen Schwellenwertes nach [1] für Betonstahlbewehrung zweifelsohne richtig ist bzw. eher auf der sicheren Seite liegt.

Fazit:

Es gehört zum Konzept der Stahlbetonbauweise, dass unter Chloridangriff während der geplanten Nutzungsdauer der Chloridgehalt in der Betondeckung sukzessive zunimmt (Stichwort: Abnutzungsvorrat). Es wird dabei regelmäßig davon ausgegangen, dass zum Ende der geplanten Nutzungsdauer von in der Regel 50 Jahren der Chloridgehalt an der Bewehrung den „kritischen, korrosionsauslösenden Chloridgehalt“ nicht überschreitet.

Sofern **während** der Nutzungsdauer – also **vor** deren geplanten Ende – im Zuge der üblichen Instandhaltung von Stahlbetonbauwerken anlassbezogen ein Chloridgehalt in der Betondeckungsschicht von mehr als 0,5 M.-%, bezogen auf die Zementmasse, ermittelt wird, ist durch den sachkundigen Planer zu beurteilen, ob und – wenn ja – welche Maßnahmen unter Berücksichtigung der noch verbleibenden Nutzungsdauer erforderlich sind, um zielsicher zu vermeiden, dass der „kritische, korrosionsauslösende Chloridgehalt“ vor Ablauf der Nutzungsdauer erreicht wird.

Risse, in die Chloride besonders rasch eindringen, sind bei Chloridangriff stets dauerhaft zu schließen. Ob zuvor der Ursprungszustand durch Ausräumen der Risse wiederhergestellt werden muss oder ob das Verhindern weiteren Chlorideindringens durch geeignete Maßnahmen (z. B. Aufbringen eines Schutzsystems, zuvor dauerhaftes Schließen der Risse) für den Rest der Nutzungsdauer hinreichend ist, kann nur im Einzelfall unter Berücksichtigung der Einwirkdauer der Chloride, des vorhandenen Chloridgehalts, der Betonqualität, der Betondeckung und den zu erwartenden Umgebungsbedingungen entschieden werden. Hinweise hierzu liefert z.B. [7].

Literatur

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb); DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Ausgabe Oktober 2001. Berlin: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2001
- [2] Breit, W.: Untersuchungen zum kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt für Stahl in Beton. – In: Schriftenreihe Aachener Beiträge zur Bauforschung, Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (1997), Nr. 8, Diss.
- [3] Kosalla, M.; Raupach, M.: Einfluss der Polarisation der Bewehrung auf den kritischen Chloridgehalt für Stahl in Beton: Effects of Reinforcement Polarisation on the Chloride Threshold Level for Steel in Concrete. Ostfildern : Technische Akademie Esslingen, 2015. - In: 4. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, Esslingen, 27. und 28. Januar 2015, (Raupach, M. (Ed.)), S. 529-536 ISBN 978-3-943563-17-7
- [4] Harnisch, J.; Raupach, M.: Investigations Into the Time to Corrosion and Corrosion Initiating Chloride Contents for Steel in Concrete : Untersuchungen zur Depassivierungszeit und zum kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt von Stahl in Beton. Moscow : Congress Center of World Trade Center, 2010. - In: From the Earth Depths to Space Heights, EUROCORR 2010, Moscow, 13 -17 September 2010, 15 Seiten ISBN 978-5-317-03383-5
- [5] Schießl, P.; Raupach, M.: Influence of Concrete Composition and Microclimate on the Critical Chloride Content in Concrete. London : Elsevier, 1990.- In: Corrosion of Reinforcement in Concrete, International Symposium, Wishaw, Warwickshire, UK, 21-24 May 1990 (Page, C.L.; Treadaway, K.W.J. ; Bamforth, P.B. (Ed.)), S. 49-58
- [6] Breit, W.; Dauberschmidt, C.; Gehlen, C.; Sodeikat, C.; Taffe, A.; Wiens, U.: Zum Ansatz eines kritischen Chloridgehaltes bei Stahlbetonbauwerken. In: Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011), Nr. 5, S. 290-298
- [7] Raupach, M., Kosalla, M.: Korrosion der Bewehrung im Bereich von Trennrissen nach kurzzeitiger Chlorideinwirkung. – Forschungsbericht zum Vorhaben DBV 292, in: DBV-Heft 35, 2015.

gez.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell und Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach
(Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.)

Berlin, 2015-10-08