

1 (1988)

VORTRÄGE 40 Jahre ibac

KRITISCHER CHLORIDGEHALT IN STAHLBETON

M. Raupach

1 EINLEITUNG

In den letzten Jahren traten an Stahl- und Spannbetonbauwerken Schäden infolge chloridinduzierter Bewehrungskorrosion auf, die häufig auf die Tausalzanwendung im Winterdienst zurückzuführen sind. Davon betroffen sind vor allem Brücken, Parkdecks und Stützmauern an Straßen. Aber auch bei meerwasserbeaufschlagten Bauten, durch chloridhaltige Abwässer oder Brandgase können Chloride in den Beton eindringen und zum Teil erhebliche Schäden verursachen.

Für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit chloridbeaufschlagter Bauteile ist die Kenntnis des kritischen, korrosionsauslösenden Chloridgehalts von großer Bedeutung. Während in der Bundesrepublik häufig ein kritischer Chloridgehalt an der Stahloberfläche für Stahlbeton von 0,4 % und für Spannbeton von 0,2 % bezogen auf die Zementmenge angegeben wird, wird in der Baupraxis bei wesentlich höheren Chloridgehalten (z. B. 2 %) häufig keine Korrosion beobachtet. In diesem Beitrag werden zunächst grundsätzliche Untersuchungsmöglichkeiten für den kritischen Chloridgehalt und anschließend eigene Untersuchungen vorgestellt.

2 UNTERSUCHUNGSVERFAHREN FÜR DEN KRITISCHEN CHLORIDGEHALT

Die Untersuchungsverfahren für den kritischen Chloridgehalt lassen sich in drei Gruppen einteilen, die im folgenden kurz beschrieben werden:

- Elektrochemische Untersuchungen von Stahl in künstlichen Porenlösungen;

Mit Hilfe dieser Versuche konnten grundlegende Zusammenhänge für die Korrosion des Stahls aufgezeigt werden. Ein wichtiges Ergebnis dieser Untersuchungen ist die Abhängigkeit des kritischen Chloridgehalts vom pH-Wert der Porenlösung. Eine direkte Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf die Verhältnisse im Beton ist jedoch nicht möglich.

- Untersuchungen an Stahlbetonproben in Lösungen mit Fremdstrom;

Diese Versuche sind geeignet, um zusätzlich den Einfluß der Betonzusammensetzung auf den kritischen Chloridgehalt (z. B. Chloridbindevermögen) zu untersuchen. In der Literatur werden nach dieser Methode kritische Chloridgehalte zwischen 0,3 und 1,1 % bezogen auf die Zementmenge angegeben, die jedoch aufgrund des Versuchsaufbaus und der Fremdstrombeaufschlagung nur bedingt auf die Verhältnisse im Beton übertragbar sind.

- Chloridbeaufschlagte Stahlbetonprüfkörper ohne Fremdströmeinwirkung;

Zu diesen Versuchen zählen die Auslagerungsversuche mit anschließendem Freilegen und visueller Begutachtung des Stahls und die Untersuchungen mit einer neuentwickelten Betonkorrosionszelle, auf die im folgenden näher eingegangen wird. Als Ergebnis von Auslagerungsversuchen wurden kritische Chloridgehalte zwischen 0,2 und 5 % bezogen auf die Zementmenge ermittelt, wobei die am häufigsten in der Literatur vorkommenden Werte zwischen 0,4 und 2 % liegen.

3 UNTERSUCHUNGEN MIT DER BETONKORROSIONSZELLE 3.1 Allgemeines

Grundsätzlich ist Stahl in Beton durch die hohe Alkalität der Porenlösung des Betons dauerhaft vor Korrosion geschützt. Durch Überschreiten des kritischen Chloridgehaltes an der Stahloberfläche kann dieser Schutz jedoch verlorengehen, was zur Bewehrungskorrosion führt, wenn zudem noch Sauerstoff und Feuchtigkeit in ausreichendem Maße vorhanden sind.

Die Korrosion von Stahl in Beton läuft in zwei Teilprozessen ab:

- der anodischen Eisenauflösung und
- der kathodischen Sauerstoffreduktion.

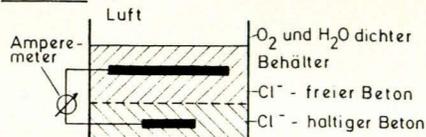
Während an der Anode Stahl abgetragen wird, bleibt die Kathode unbeschädigt.

Bei chloridinduzierter Korrosion der Bewehrung bilden sich in der Regel Makrokorrosionselemente mit örtlich getrennten und unter Umständen weit auseinanderliegenden Anoden und Kathoden aus. Dabei sind die kathodisch wirkenden Oberflächenbereiche des Stahls im Verhältnis zur Anodenfläche in der Regel sehr groß, was zu sehr hohen Abtragungsraten des Stahls an der Anode führt. Die Korrosion schreitet dann schnell ins Innere des Stahls vor (Lochfraß) und kann zu erheblichen Querschnittsschwächungen führen.

Mit Hilfe der neuentwickelten Betonkorrosionszelle ist es möglich, die maßgebenden Einflußgrößen auf die chloridinduzierte Korrosion quantitativ zu erfassen, ohne in den Korrosionsvorgang einzugreifen (s. /1/). Bild 1 zeigt schematisch den Aufbau einer Betonkorrosionszelle und die ablaufenden Vorgänge.

Durch Strommessung zwischen örtlich getrennter Anode und Kathode erhält man den zeitlichen Verlauf der Abtragungsgeschwindigkeit des Stahls, so daß Aussagen über den kritischen, korrosionsauslösenden Chloridgehalt möglich sind.

Aufbau



Vorgänge

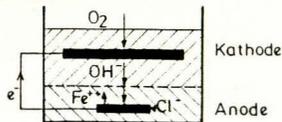


Bild 1: Aufbau und Vorgänge bei der Betonkorrosionszelle

3.2 Untersuchungsergebnisse

Die im folgenden beschriebenen Versuche wurden mit einem Verhältnis von Kathoden- zu Anodenfläche von 400/20 cm² und einem Achsabstand der Elektroden von 7,5 cm durchgeführt.

Die Elementstromverläufe zwischen Anode und Kathode für Korrosionszellen mit unterschiedlicher Chloridzugabe sind in Bild 2 dargestellt. Man erkennt, daß die Elementströme nach der Stabilisierung der Elementstromverläufe in den ersten Wochen nach dem Herstellen der Korrosionszellen, mit der Zeit kleiner werden, was unter anderem auf die zunehmende Austrocknung und im Laufe der Hydratation zunehmenden Dichtigkeit des Betons zurückzuführen ist. Während für die vorliegenden Verhältnisse bei 0,5 % Chloridzugabe keine Korrosion beobachtet wurde, steigt die Korrosionsgeschwindigkeit, wie zu erwarten, mit zunehmender Chloridzugabe deutlich an. Außerdem führt eine Erhöhung der Temperatur zu einer Zunahme der Abtragungsraten.

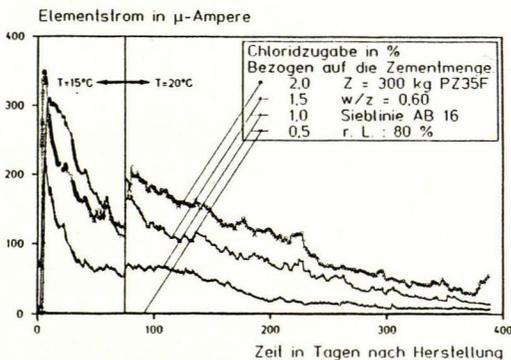


Bild 2: Elementströme von Korrosionszellen mit unterschiedlicher Chloridzugabe und Lufttemperatur

Einen entscheidenden Einfluß auf die Korrosionsgeschwindigkeit hat die Zementart. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Auswertung von 10 Korrosionszellen mit unterschiedlicher Betonzusammensetzung im Alter von 197 Tagen und die Eigenschaften der verwendeten Zemente. Die Zementgehalte lagen zwischen 300 und 450 kg/m³, die w/z-Werte zwischen 0,4 und 0,6, die Nachbehandlungsdauer lag zwischen 0 und 7 Tagen und die Betonüberdeckung betrug zwischen 10 und 40 mm. Es wurden jeweils 2 % Chlorid zugegeben, die Lagerung erfolgte im Klima 20/80.

Tabelle 1: Einfluß der Zementart auf die Korrosionsgeschwindigkeit der Bewehrung

	Einheit	PZ 35 F	EPZ 35 F	HOZ 35 L	HOZ 35 L -NW/HS	FAZ 35 F
Hüttensandgehalt	M.-%	-	20	42	74	-
Flugaschegehalt	M.-%	-	-	-	-	26
spez. Oberfläche	cm ² /g	3430	4340	3170	3620	3480
Druckfestigkeit, 28 d	N/mm ²	48	49	52	50	53
min. Elementstrom *	µA	23	0	0	0	3
Mittelwert der Elementströme *	µA	53	17	6	1	4
max. Elementstrom *	µA	108	48	23	5	13
Mittelwert der * Elektrolytwiderstände	Ω	498	936	1965	5018	4756

* Auswertung von 10 Korrosionszellen im Alter von 197 Tagen (Anmerkungen im Text)

Mit steigendem Hüttensandgehalt und bei Verwendung von Flugasche wurde eine deutliche Verringerung der Korrosionsgeschwindigkeit und ein erheblicher Anstieg des Elektrolytwiderstands festgestellt. Dabei ist jedoch anzumerken, daß bei der Anordnung der Korrosionszelle der Beton im Bereich der Anode jeweils gut nachbehandelt ist. Tastversuche mit anderem Aufbau führten jedoch zu einem vergleichbaren Ergebnis.

Bezüglich des kritischen Chloridgehaltes wurde festgestellt, daß der Korrosionsvorgang bei Verwendung von HOZ 35 L-NW/HS bei einer Korrosionszelle trotz Chloridzugabe von 2 % bereits nach 3 Monaten zum Stillstand kam.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Elementstrommessungen an Korrosionszellen zeigen, daß eine Verringerung der Abtragungsgeschwindigkeit bei Chloridkorrosion durch folgende Maßnahmen bzw. Änderungen erfolgt:

- Verringerung des w/z-Wertes,
- steigender Hydratationsgrad,
- sinkende Temperatur,
- Vergrößerung des C₃A-Gehaltes,
- Verwendung von Zementen mit Hüttensand oder puzolanischen Stoffen (z. B. Flugasche, Silikastaub) bei guter Nachbehandlung.

Während bei Chloridzugabe von 0,5 % und Lagerung im Klima 20/80 der Korrosionsvorgang bei allen untersuchten Korrosionszellen spätestens nach 3 Monaten zum Stillstand kam und dies bei 1 % Chloridzugabe in der Regel nicht der Fall war, wurde bei Verwendung von HOZ 35 L-NW/HS und 2 % Chloridzugabe nach 3 Monaten keine Korrosion mehr beobachtet.

Anhand dieser Ergebnisse kann abgeleitet werden, daß der kritische, korrosionsauslösende Chloridgehalt von der Betonzusammensetzung und den Umgebungsbedingungen abhängt.

Um detaillierte Angaben zum kritischen Chloridgehalt zu ermöglichen, sind weitere Untersuchungen geplant. Die dargestellten Ergebnisse zeigen, daß die Betonkorrosionszelle grundsätzlich geeignet ist, um die maßgebenden Einflußgrößen auf die Korrosionsgeschwindigkeit und den kritischen Chloridgehalt zu untersuchen.

LITERATUR

- /1/ Schießl, P. ; Raupach, M.: Chloridinduzierte Korrosion von Stahl in Beton, Untersuchungen mit Betonkorrosionszellen. In: Beton Informationen 28 (1988) Nr. 3/4, S. 33-45

Herausgeber:



Institut für Bauforschung Aachen
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
Schinkelstraße 3, D-5100 Aachen
Tel. (02 41) 80-5100, FAX (02 41) 80-5120
Telex 8 32 704 thac d

Direktoren:
Prof. Dr.-Ing. H. R. Sasse
Prof. Dr.-Ing. P. Schießl