Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 60-61 (1992-1993)
Heft: 20

Artikel: Kathodischer Korrosionsschutz
Autor: Hermann, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153783

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

CEMENTBULLETIN

AUGUST 1993 61. JAHRGANG NUMMER 20

Kathodischer Korrosionsschutz

Kathodische Korrosionsschutzsysteme unterbinden in chloridverseuchten Stahlbetonbauwerken die Bewehrungskorrosion, ohne dass der chloridhaltige Beton entfernt werden muss.

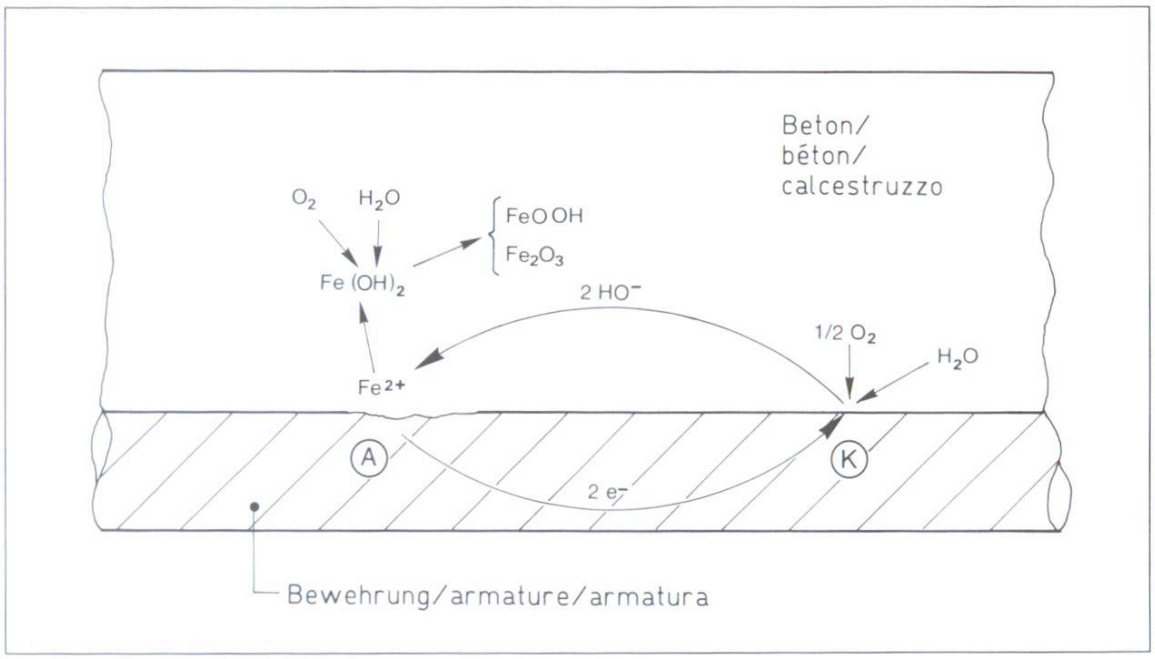
Das wirksamste und wirtschaftlichste Mittel, um die Bewehrung von Stahlbetonbauwerken dauerhaft vor Korrosion zu schützen, besteht darin, einen möglichst dichten Beton mit geringer Porosität herzustellen. Zudem muss die Bewehrung ausreichend überdeckt sein. Mit diesen Vorkehrungen gelingt es, das Eindringen von Chloridionen und das Fortschreiten der Carbonatisierung des Betons bis zur Bewehrung weitgehend oder vollständig zu unterbinden. Dies sollte allgemein bekannt sein.

Abplatzungen als Folge von Bewehrungskorrosion.
(Foto: Helbling Ingenieurunternehmung AG, Zürich)

2 Leider zeigen Bauschäden, darunter vor allem Abplatzungen von Beton über korrodierenden Bewehrungsstählen, dass zwischen Theorie und Praxis oft ein grosser Unterschied besteht. Das Beheben von Sünden der Vergangenheit ist dadurch für viele Bauunternehmen zu einer wichtigen Beschäftigung geworden.
Der Sanierung von Bauwerken mit Korrosionsschäden mittels kathodischem Korrosionsschutz, einem Verfahren, das auch in der Schweiz zunehmend Anhänger findet, ist das vorliegende «Cementbulletin» gewidmet. Zum besseren Verständnis wird zuerst in vereinfachter Form auf die Korrosion von Stahl in Beton [1–4] eingegangen.

Korrosion von Stahl in Beton

Grundsätzlich ist Stahl in Beton vor Korrosion geschützt, denn unter der Einwirkung des stark alkalischen Zementleims (pH 12,5 bis 13,5) bildet sich auf seiner Oberfläche spontan eine sehr dünne, lückenlose und fest haftende Schutzschicht. Diese Passivschicht aus Eisenoxiden verhindert Korrosion praktisch vollständig. Allerdings ist sie in Anwesenheit von Chloridionen oder bei pH-Werten unter 9,5 (pH-Erniedrigung durch Carbonatisierung [5]!) nicht mehr stabil; in Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff besteht für die Bewehrung ein Korrosionsrisiko.
Die Korrosion von Bewehrungsstahl *(Schema 1)* ist ein komplexer elektrochemischer Prozess, bei dem Stellen mit zerstörter Passivschicht als Anoden und Bereiche mit intakter Passivschicht als Kathoden wirken. Während des anodischen Teilprozesses (1) lösen sich Eisenionen aus dem Gitterverband des Metalls heraus. Die freigesetzten Elektronen wandern unter der Wirkung der sich aufbau-



Schema 1. Vereinfachte Darstellung der Bewehrungskorrosion in Beton (A = Anode, K = Kathode). (Zeichnungen: TFB)

enden Potentialdifferenz zur Kathode. Dort findet der kathodische Teilprozess (2) statt, der in basischem bis neutralem Medium in einer Reduktion von Sauerstoff besteht. Die Teilprozesse lassen sich folgendermassen formulieren:

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2\,e^- \qquad (1)$$
$$\tfrac{1}{2}\,O_2 + H_2O + 2\,e^- \rightarrow 2\,HO^- \qquad (2)$$

Zum Schliessen des Stromkreises wird auch ein Elektrolyt benötigt, in dem sich die gebildeten Ionen auflösen und transportiert werden können. In Stahlbeton ist dies die Porenlösung des Betons. Die im kathodischen Teilprozess gebildeten Hydroxylionen wandern darin zu den Eisenionen; es bildet sich Eisenhydroxid, das durch Sauerstoff (sofern genügend vorhanden) in Rost, einer Mischung von FeOOH und Fe_2O_3 umgesetzt wird:

$$Fe^{2+} + 2\,HO^- \rightarrow Fe(OH)_2 \qquad (3)$$
$$2\,Fe(OH)_2 + \tfrac{1}{2}\,O_2 \rightarrow 2\,FeOOH + H_2O \qquad (4)$$
$$2\,FeOOH \rightleftarrows Fe_2O_3 + H_2O \qquad (5)$$

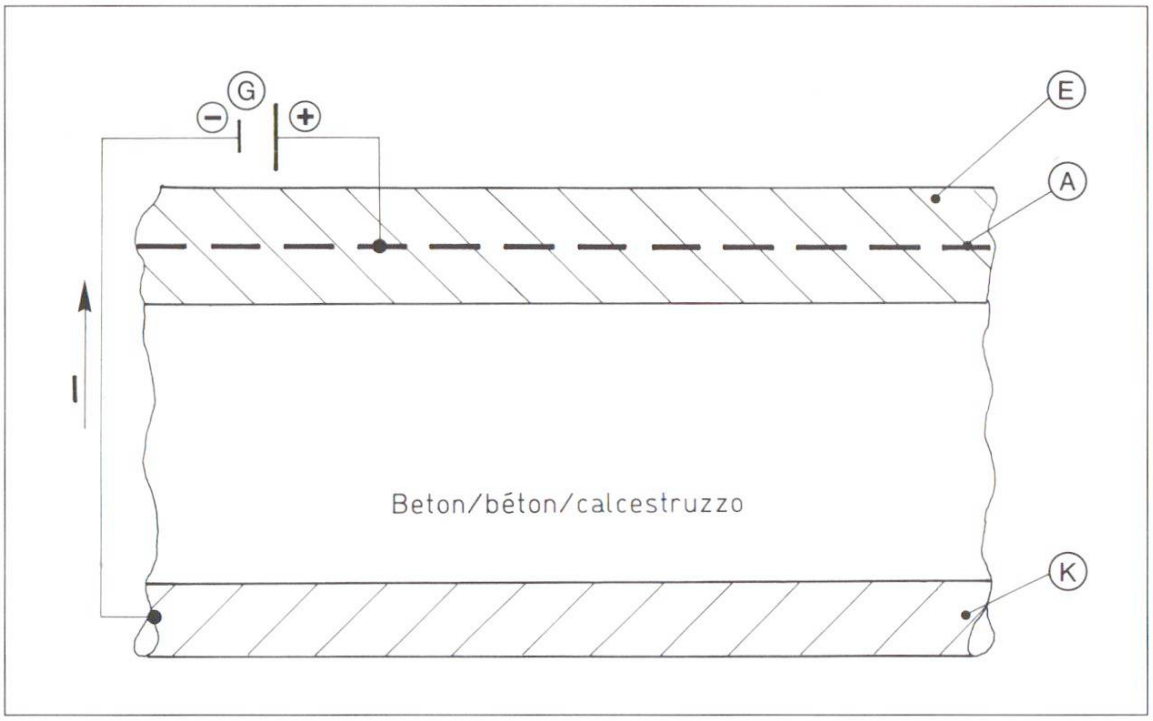
Die Lage und die Ausdehnung der Anoden- und Kathodenflächen kann sehr unterschiedlich sein. Wenn sie klein sind und dicht nebeneinander liegen, handelt es sich um Lokal- oder Mikroelementkorrosion, die in der Regel nur langsam vorwärtsschreitet. Das Metall wird gleichmässig abgetragen. Beobachtet wird diese Korrosionsart vor allem bei grossflächiger Carbonatisierung bis zur Bewehrung und bei hohen Chloridkonzentrationen.

Makroelementkorrosion tritt meistens bei chloridinduzierter Korrosion auf. Wenigen kleinen Anodenflächen stehen – mindestens anfänglich – bedeutend grössere Kathodenflächen gegenüber; oft sind sie mehrere Meter voneinander getrennt. Häufig wird dann die sogenannte «Lochfrasskorrosion» beobachtet, in deren Verlauf vereinzelte tiefe Löcher entstehen, die zu einer erheblichen Abminderung des tragenden Querschnitts des Bewehrungsstahls führen.

Da Rost ein beträchtlich grösseres Volumen beansprucht als das Eisen, aus dem er gebildet wurde, treten schon bald nach dem Beginn der Korrosion erste Abplatzungen von Beton auf. Zu diesem Zeitpunkt besteht noch keine signifikante Schädigung der Tragfunktion; eine Sanierung ohne Ersatz von Teilen der Bewehrung ist möglich.

Der kathodische Korrosionsschutz hat sich bei der Sanierung von chloridverseuchten Bauteilen bewährt. Es lohnt sich deshalb, kurz auf die Rolle von Chloridionen bei der Korrosion einzugehen [6, 7]. Diese sind nicht nur in der Lage, die Passivschicht der Bewehrung auch bei hohen pH-Werten zu durchbrechen, sie beschleunigen auch die Korrosion selbst.

4



Schema 2. Kathodischer Korrosionsschutz mit inerter Fremdstromanode (A) in Einbettung (E) und Gleichspannungsquelle (G). Die Bewehrung (K) wirkt ausschliesslich als Kathode.

Gegenwärtig geht man oft davon aus, dass Chloridkonzentrationen $\leqslant 0{,}4\,\%$ (bezogen auf Zementgehalt) keine Gefahr für die Bewehrung darstellen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass C_3A im Zementstein Chloridionen binden kann. Betone, die voraussichtlich starken Belastungen durch Chloridionen (Tausalze) ausgesetzt sein werden, sollten deshalb nie mit Portlandzementen mit hoher Sulfatbeständigkeit (PCHS, Markennamen «Sulfix», «Sulfacem») hergestellt werden. Diese enthalten nämlich einen ausgeprägt niedrigen Anteil an C_3A [8]. (Einen Ausweg bietet der Einsatz von bestimmten Hochofenzementen [4].)
Tatsächlich ist die Angabe von Grenzwerten für die tolerierbare Chloridionenkonzentration in Beton schwierig, denn sie hängt nicht nur von der Mengen und der Zusammensetzung des Zements, sondern von vielen weiteren Faktoren ab. Wichtig sind beispielsweise der W/Z-Wert (Porosität), die vorhandene Feuchtigkeit sowie die Alkalinität des Betons. Übrigens beeinflusst die Carbonatisierung auch die Chloridkorrosion: Durch sie werden gebundene Chloridionen wieder freigesetzt.

Kathodischer Korrosionsschutz

Der kathodische Korrosionsschutz von metallischen Gegenständen, zum Beispiel erdverlegten Rohrleitungen, war schon im letzten Jahrhundert bekannt. Wesentlich weniger weit zurück liegen die ersten Feldversuche zum Schutz von Stahlbetonbauten wie Brückenplatten

 und Parkgaragendecken: Sie wurden vor rund 20 Jahren in Nordamerika durchgeführt. Und die erste Anwendung in der Schweiz – an einer kleinen Brücke – erfolgte gar erst vor acht Jahren [9]. Mit der 1991 publizierten «Richtlinie für Projektierung, Ausführung und Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahlbetonbauwerken» [10] wurden in der Schweiz die Voraussetzungen für eine weitere Verbreitung des Verfahrens geschaffen. Berücksichtigt werden in der Richtlinie die kathodischen Schutzverfahren mit Anoden, die im Bauwerk integriert sind.

Das alleinige Beheben der sichtbaren Korrosionsschäden an einem Bauwerk birgt immer die Gefahr in sich, dass bald Korrosionsschäden an anderen, nicht sanierten Stellen auftreten. Eine aufwendige Alternative für die Instandstellung von chloridverseuchten Betonstrukturen besteht darin, den kontaminierten Beton vollflächig zu entfernen, die Bewehrung zu reinigen und anschliessend zu reprofilieren. Beim kathodischen Korrosionsschutz von Stahlbetonbauten [3, 4, 9–13] muss dagegen chloridhaltiger Beton nicht abgetragen werden.

Das Prinzip des kathodischen Korrosionsschutzes ist in *Schema 2* vereinfacht dargestellt: Auf der Betonoberfläche wird eine Fremdstromanode in Beton oder Mörtel eingebettet und mit der zu schützenden Bewehrung elektrisch leitend verbunden. Durch eine Gleichstromquelle werden derart Elektronen zugeführt, dass die anodischen Reaktionen auf der Bewehrungsoberfläche unterbunden werden; als einzige Reaktion läuft die kathodische Reduktion von Sauerstoff ab (siehe oben). Die Korrosion kommt dadurch zum Stillstand, und unter der Wirkung des elektrischen Feldes wandern negative Ionen (Hydroxyl- und Chloridionen) in Richtung Anode. Dies bedeutet, dass sich die Chloridionenkonzentration in Bewehrungsnähe vermindert [11].

Als Anodenmaterial für den Normalfall haben sich Titannetze mit katalytisch aktivierten Oberflächen – speziellen Platinoxidschichten – bewährt, deren Lebensdauer die voraussichtliche Nutzungsdauer der zu schützenden Stahlbetonobjekte mindestens erreicht. Dies ist wichtig, da die Anoden in hydraulisch abbindende Zementmörtel oder Betone eingebettet und damit nicht mehr zugänglich sind. Die Überzüge sollen mindestens 350 kg Zement/m^3 enthalten [12] und einen möglichst niedrigen elektrischen Widerstand aufweisen.

Meistens dienen Gleichrichter als Gleichstromquelle. Die auf die Betonoberfläche bezogene Schutzstromdichte beträgt im Regelfall 10 bis 20 mA/m^2 (Spannung: 2–5 V). An einen Gleichrichter sollten

Unter dem Bahnhofplatz Baden: Durch undichte Stellen auf der Oberseite des mehrstöckigen Bauwerks drang chloridhaltiges Wasser ein, das in den abgebildeten Stützen zu starken Korrosionsschäden führte. Diese wurden durch kathodischen Korrosionsschutz ohne Veränderung der Tragwirkung der Stützen behoben (kein Beton entfernt). (Foto: Kurt Haberstich, TFB)

nicht mehr als 500 m^2 Anodennetz oder vier separate Speisebereiche angeschlossen werden. Der Energiebedarf der Anlagen ist so gering, dass er bei fehlendem Stromanschluss auch durch Sonnenkollektoren gewährleistet werden kann.

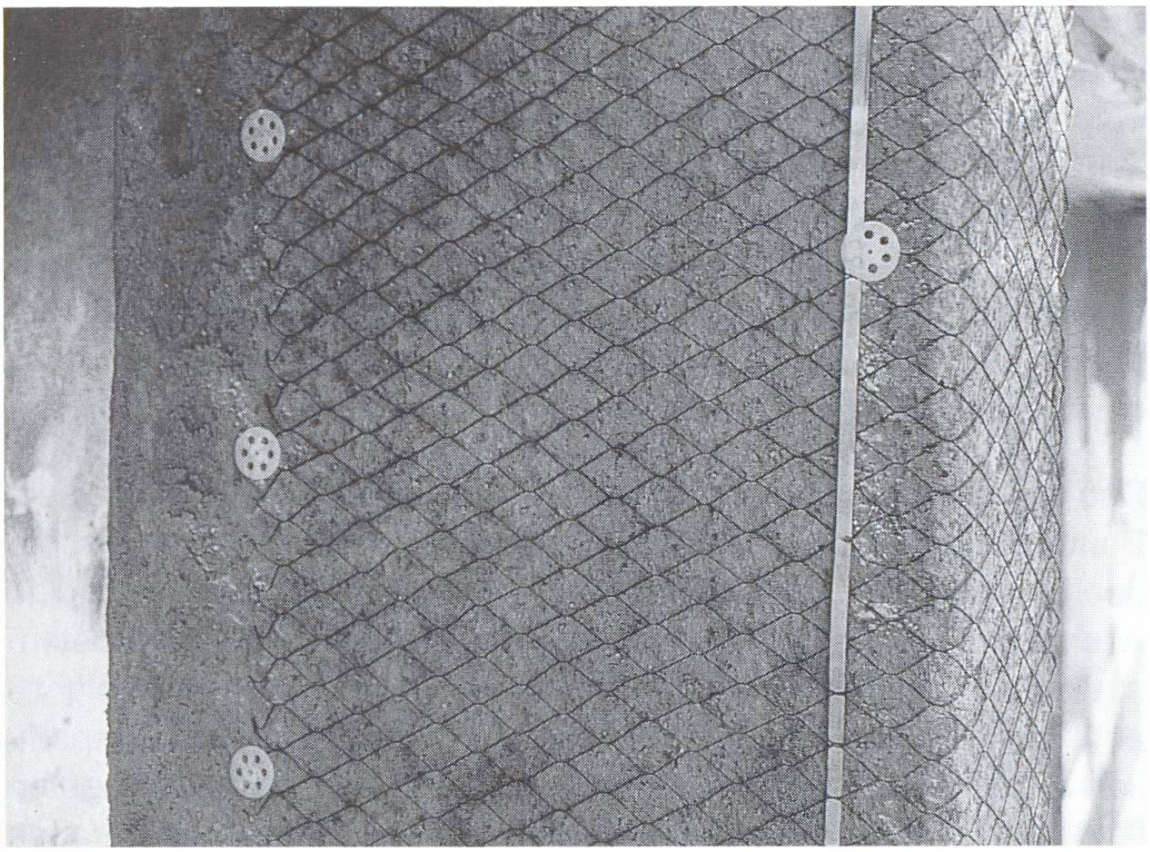
7 Ausführung und Installation

Der kathodische Korrosionsschutz ist nur so lange einsetzbar, als die Bewehrung noch keine erheblichen Querschnittverminderungen durch Korrosion erlitten hat. Zudem sollten keine oder nur wenige Betonschäden aufgetreten sein. Hingegen sind hohe Salzgehalte im Beton kein Grund, auf eine Sanierung mittels kathodischem Korrosionsschutz zu verzichten. Hier liegt im Gegenteil die Hauptanwendung dieses Verfahrens. Selbstverständlich lässt es sich auch präventiv in neuen Bauten mit grossem Korrosionsrisiko einsetzen.

Planung, Ausführung und die unerlässliche Überwachung von kathodischen Korrosionsschutzanlagen sind in der erwähnten Richtlinie [10] ausführlich beschrieben. Sie gehören in die Verantwortung von Spezialisten. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Arbeitsvorgänge würde zu weit führen, weshalb hier nur eine Auswahl wichtigster Punkte aufgeführt wird. Es sind dies [10, 12]:

- Lose Betonteile und alte Flickstellen mit nicht oder schlecht elektrisch leitendem kunststoffmodifiziertem Mörtel bzw. Kunstharzmörtel entfernen sowie Zementhaut abtragen, um ausreichende Haftzugfestigkeit für Überzug zu erhalten. Geeignete Verfahren: Sand- oder Hochdruckwasserstrahlen.
- Rost an freigelegten Bewehrungsstählen entfernen.
- Bewehrung an mindestens zwei Stellen pro Speisebereich (200 bis 500 m^2) freilegen, um Kathodenanschlüsse erstellen zu können.
- Überwachungselemente in der Ebene der Bewehrung versetzen und einmörteln.
- Betonoberfläche mit Mörtelschicht derart abdecken, dass alle metallischen Teile mindestens 10 mm dick überdeckt sind (kein Kurzschluss zwischen Anode und Bewehrung!).
- Anodennetze mit Befestigungselementen aus Kunststoff montieren und Anodenanschlüsse (mindestens zwei pro Speisebereich) erstellen.
- Anoden in 2 bis 3 cm starkem Überzug aus Beton oder Zementmörtel einbetten (giessen bei horizontalen Flächen, spritzen bei vertikalen Flächen und Flächen über Kopf). Mörtel- oder Betonschichten gut nachbehandeln.
- Anoden- und Kathodenanschlüsse zum Gleichrichter führen.
- Inbetriebnahme frühestens einen Monat nach Einmörteln bzw. Einbetonieren der Anoden. Vorausgehen muss eine sorgfältige Überprüfung sämtlicher Einrichtungen und Komponenten des kathodischen Korrosionsschutzsystems.

Die Einrichtungen und die Wirkung des kathodischen Korrosionsschutzes müssen durch monatliche Betriebs- sowie Funktions- und Systemkontrollen in grösseren Abständen überwacht werden.



Anodennetze werden mit Kunststoffelementen befestigt.
(Foto: Helbling Ingenieurunternehmung AG, Zürich)

Spannbetonbauwerke

Bei Spannbetonbauwerken kann zu hohe kathodische Schutzstromdichte unter ungünstigen Bedingungen zu Wasserstoffversprödung an den Spannstählen führen. In der Schweizer Richtlinie zum kathodischen Korrosionsschutz [10] ist festgelegt, welche Bedingungen einzuhalten sind, um das Verfahren bei Bauwerken mit Spanngliedern mit oder ohne nachträglichem Verbund einzusetzen. Nicht kathodisch geschützt werden dürfen Spannbetonbauwerke, die zu einem wesentlichen Teil Spannstähle mit einem direkten Verbund mit Beton enthalten.

Schlussfolgerungen

Der kathodische Korrosionsschutz dürfte sich auch in der Schweiz einen festen Platz bei der Sanierung chloridverseuchter Stahlbetonbauwerke sichern. In einer zusammenfassenden Wertung des Verfahrens aufgrund von Forschungen und Erfahrungen in der Schweiz [11] ist zu lesen: «Mit den heute vorhandenen Kenntnissen und mit der hierfür vorhandenen Richtlinie kann der kathodische Korrosionsschutz bei chloridverseuchten Stahlbetonbauwerken als echte Ergänzung und Alternative zur konventionellen Instandsetzung betrachtet werden. Die Risiken des kathodischen Korrosionsschutzes sind heute kontrollierbar, die Vorteile überzeugend.» Für die Nutzungszeit eines gemäss der Richtlinie [10] installierten Schutz-

systems mit Titananoden werden «weit mehr als 30 Jahre» angegeben.

Auf ein mit dem kathodischen Korrosionsschutz verwandtes Verfahren, die elektrochemische Realkalisierung und Entsalzung von Stahlbetonbauten, wird in der folgenden Ausgabe des «Cementbulletin» eingegangen.

Kurt Hermann

Literatur

[1] *Böhni, H.*, «Korrosion und Korrosionsschutz von Stahl in Beton», SIA-Dokumentation **D 020**, 7–13 (1988).

[2] *Hartl, G.*, «Zur Frage des Korrosionsschutzes und von Instandsetzungsgrundsätzen im Stahlbetonbau», Beton- und Stahlbetonbau **83** [10], 265–270 (1988).

[3] *Jungwirth, D., Grübl, P.*, und *Windisch, A.*, «Elektrochemische Schutzverfahren für bewehrte Bauteile aus baupraktischer Sicht», Beton- und Stahlbetonbau **86** [7], 167–171 (1991) und **86** [8], 190–192 (1991).

[4] *Nägele, E. W.*, «Metallkorrosion in der Praxis – Ursachen, Vorbeugung, Schutz», Bautenschutz + Bausanierung **11** [4], [113]–[121] (1988).

[5] *Neisecke, J.*, «Karbonatisierung von Stahlbeton – wirklich ein Problem?», Beton-Informationen **31** [3/4], 27–31 (1991).

[6] *Nürnberger, U.*, «Chloridkorrosion von Stahl in Beton», Betonwerk+Fertigteil-Technik **1984** [9], 601–612 und **1984** [10], 697–704.

[7] *Schiessl, P.*, und *Raupach, M.*, «Chloridinduzierte Korrosion von Stahl und Beton – Untersuchung mit Betonkorrosionszellen», Beton-Informationen **28** [3/4], 33–45 (1988).

[8] *Hermann, K.*, «Betonschäden durch den Angriff von Sulfationen», Cementbulletin **60** [4] (1992).

[9] *Hunkeler, F.*, «Kathodischer Schutz – Wissensstand, Einsatzmöglichkeiten, Einsatzgrenzen», SIA-Dokumentation **D 021**, 27–42 (1988).

[10] «Richtlinie für Projektierung, Ausführung und Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes von Stahlbetonbauwerken» (C7d), herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz (1991).

[11] *Hunkeler, F.*, «Kathodischer Korrosionsschutz – Stand der Forschung und Erfahrung in der Schweiz», SIA-Dokumentation **D 099**, 55–63 (1993).

[12] *Gassner, P.*, «Kathodischer Korrosionsschutz in Bauten aus Beton», Schweizer Baublatt **1992** [43], 55–59.

[13] *Raupach, M.*, «Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlbetonbau», Beton **42** [12], 674–676 (1992).

Redaktion
Dr. Kurt Hermann
TFB, Lindenstrasse 10
5103 Wildegg
Telefon 064 57 72 72
Telefax 064 53 16 27

Das «Cementbulletin»
erscheint einmal monatlich
Jahresabonnement:
Schweiz: Fr. 25.–
Übriges Europa: Fr. 50.–
Restliches Ausland: Fr. 80.–

Vertrieb/Abonnemente
Frau M. Winter
Zürichsee Medien AG
Seestrasse 86, 8712 Stäfa
Telefon 01 928 52 23
Telefax 01 928 52 00

Herausgeber
TFB, Lindenstrasse 10
5103 Wildegg
Telefon 064 57 72 72

Druck
Zürichsee Druckereien AG
Seestrasse 86
8712 Stäfa

Copyright
TFB
Lindenstrasse 10
5103 Wildegg