

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 93 (1975)
Heft: 39: Surface 75

Artikel: Das Korrosionsverhalten von Stahlbewehrungen in Beton
Autor: Oeteren, K.A. van
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72825>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

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

zierten Rissvorgänge sind vermutlich auf eine lokale Wasserstoffversprödung zurückzuführen, da unter diesen Verhältnissen eine verformungsinduzierte Metallauflösung in grösserem Ausmass kaum möglich ist. Im Hinblick auf die Schutzmassnahmen in der Praxis muss deshalb nicht nur auf die Abwesenheit wasserstoffversprödungsfördernder Stoffe wie Schwefelwasserstoff oder auch anderer Schwefelverbindungen geachtet werden, sondern es ist mindestens ebenso wichtig, örtliche Korrosionsangriffe zu verhindern.

In der Praxis sind jedoch auch saure, schwefelwasserstoffhaltige Angriffsmedien nicht immer auszuschliessen, so dass bei mangelhaftem Korrosionsschutz eine kathodische Wasserstoffversprödung ebenfalls möglich ist. In diesem Falle sind mechanische Verletzungen häufig die Ausgangspunkte für die Risse. Dem Oberflächenzustand der Spannstähle ist deshalb die notwendige Beachtung zu schenken.

Bei den heute noch vielfach gebräuchlichen Prüfmethoden zur Beurteilung der Spannstähle auf ihre Neigung zur Wasserstoffversprödung werden der Einfachheit halber zu Bügelproben gebogene Drahtabschnitte einem geeigneten Medium ausgesetzt [7]. Die gewünschte Zugspannung ist somit nur in den äusseren Randfasern und zudem in einem recht beschränkten Oberflächenbereich vorhanden. Eine elektrochemisch kontrollierte Versuchsdurchführung erfolgt normalerweise nicht, so dass auch von den korrosionschemischen Bedingungen her beträchtliche Unterschiede zu erwarten sind. Aus diesen Gründen ist es nicht erstaunlich, dass bei solchen Prüfmethoden im allgemeinen ausserordentlich grosse Streuungen auftreten.

Verwendet man anstelle von Bügelproben axial belastete Zugproben unter elektrochemisch kontrollierten Versuchsbedingungen, so lassen sich wesentlich bessere Ergebnisse erzielen. Die beispielsweise in schwefelwasserstoffhaltigen

Prüfmedien bei tiefen Potentialwerten vorhandene lineare Beziehung zwischen dem Logarithmus der kathodischen Teilstromdichte und dem reziproken Wert der Standzeit ermöglicht sowohl eine Beurteilung des Spannstahles, wie auch des Angriffsmediums. Bei der Prüfung von Spannstählen auf ihre grundsätzliche Neigung zur Wasserstoffversprödung sollten lochfrassinduzierte Rissvorgänge vermieden werden, da hier der vorgängig notwendige lokale Korrosionsangriff eine Beurteilung der Wasserstoffversprödungsempfindlichkeit unter Umständen verunmöglicht.

Literaturverzeichnis

- [1] Netherlands Committee for Concrete Research, Report 49, 1971: Cases of Damage due to Corrosion of Prestressing Steel.
- [2] R. N. Parkins: Stress Corrosion Spectrum; «Br. Corr. J.» 7 (1972) 15.
- [3] N.A.T.O. Science Committee Research Evaluation Conference: The Theory of Stress Corrosion Cracking in Alloys; edited by J. C. Scully, Brüssel 1971.
- [4] H. Böhni: Die Wasserstoffversprödung bei Spannstählen; «Werkstoffe und Korrosion» 26 (1975) 199.
- [5] H. Böhni: Die Lochfrasskorrosion metallischer Werkstoffe; «Material und Technik» 1 (1973) 33.
- [6] B. F. Brown: Stress Corrosion Cracking of High Strength Steels; in [3].
- [7] A. Bukowiecki: Korrosionsuntersuchungen mit Vorspanndrähten; «Schweiz. Archiv angew. Wiss. u. Technik» 34 (1968) 369.
- [8] D. Latanision and A. R. C. Westwood: Surface- and Environment-Sensitive Mechanical Behavior; in: Advances in Corrosion Science and Technology, vol 1; ed. by M. G. Fontana and R. W. Staehle, New York/London 1970, Plenum Press.
- [9] R. W. Staehle: Stress Corrosion Cracking of the Fe-Cr-Ni Alloy System; in [3].

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. H. Böhni, ETH Zürich, Institut für Baustoff, Werkstoffchemie und Korrosion, Sonneggstrasse 3, 8006 Zürich.

Das Korrosionsverhalten von Stahlbewehrungen in Beton

Von Obering. K. A. van Oeteren, Hilden/Rhld.

DK 620.194.8:666.982.4

Die Bewehrung von Stahlbetonbauwerken ist erfahrungsgemäss im allgemeinen ohne weitere Schutzmassnahmen sehr gut korrosionsgeschützt. Das ist dadurch bedingt, dass im normal alkalischen Beton, dessen Porenfeuchtigkeit einen *pH*-Wert von 12,6 aufweist, der unlegierte Stahl elektrochemisch passiv ist. Die Korrosion wird durch eine submikroskopische dünne Oxidhaut in den angreifenden Elektrolyten praktisch völlig gehemmt.

Es ist zu beachten, dass die Alkalität des Betons grundsätzlich nicht konstant ist, da das als Alkalispeicher wirkende Calciumhydroxid oder auch sonstige Hydroxide, mit dem Kohlendioxidgehalt der Luft langsam zum Carbonat reagiert. Die Geschwindigkeit dieser sogenannten Carbonatisierung des Betons hängt naturgemäss stark von der Dichte und Porigkeit des Betons, aber auch vom Vermahlungsgrad ab. Unter sonst konstanten Bedingungen ist ausserdem zu erwarten, dass die Carbonatisierung die nächste Umgebung der Bewehrungen um so später erreicht, je dicker die Betonüberdeckung der Bewehrungen ist. Mithin wird der natürliche Korrosionsschutz der Bewehrungen mit steigender Dichte und Betonüberdeckung dauerhafter, soweit der Beton selbst keine aggressiven Substanzen enthält.

Andererseits gehen die Bestrebungen eher in Richtung auf möglichst dünnchalige Beton- und besonders Spannbetonkonstruktionen. In diesen kann nach Erschöpfung des Alkalispeichers des Mörtels der durch die Passivität bewirkte Korrosionsschutz versagen. Die Bewehrungen beginnen dann nach Massgabe des Zutritts von Feuchtigkeit

und Luftsauerstoff zu rosten. Der Mechanismus des Rostens sollte in diesem Fall in seinen wesentlichen Zügen dem Mechanismus der gewöhnlichen Korrosion von unlegiertem Stahl an feuchter Luft ähneln, wobei allerdings das Fortschreiten der Korrosion durch Verwendung eines sehr dichten Betons stark verlangsamt werden kann.

Betontechnologische Voraussetzungen sind für einen optimalen Korrosionsschutz

Der Verbund zwischen Bewehrung und Beton ist durch eine ausreichend dicke dichte Betondeckung zu sichern. Sie muss in der Lage sein, den Stahl dauerhaft gegen Korrosion zu schützen. Nach DIN 1045 «Beton- und Stahlbetonbau» sind drei Grundparameter zu berücksichtigen:

- Mindestmasse der Betondeckung, bezogen auf die Durchmesser der Bewehrung (siehe Tabelle 9, DIN 1045)
- Mindestmasse der Betondeckung bezogen auf die Umweltbedingungen (siehe Tabelle 10, DIN 1045)
- Risse des Betons unter Gebrauchslasten, höchstens haarfein, und zwar dürfen folgende Rissbreiten nicht überschritten werden: 0,3 mm in trockener Umgebung; 0,2 mm in feuchter Umgebung; 0,1 mm bei Spannbeton bei beschränkter Vorspannung oder anspruchsvollem Sichtbeton; 0,0 mm bei Spannbeton mit Vorspannung.

Korrosion der Stahlbewehrung

Unter gewissen Bedingungen versagt der natürliche Korrosionsschutz der Stahloberfläche im Beton. Es kommt

zur Korrosion. Bei der Korrosion der Bewehrung in Beton ist zu unterscheiden:

Korrosion von innen: Durch Fremdstrom von Gleichstromanlagen; durch Korrosionselemente, hervorgerufen durch unterschiedliche Belüftung oder Feuchtigkeit (fast kein Rost vorhanden); durch chloridhaltige Betonzusatzmittel (borkiger Rost).

Korrosion von aussen: Durch nicht ausreichend dicke Betondeckung; durch nicht ausreichend dichte Betondeckung; durch Risse durch innere oder äussere Einwirkung.

Korrosionsformen, und zwar an Bewehrungsstählen (Rostung); an Spannstählen (Rostung, Spannungsrisse).

Die Art und Intensität der Korrosion von aussen hängt ab von den **Korrosionsbedingungen:** Land-, Stadt-, See-, Industrieluft; Feuchtigkeit; Korrosionsstimulatoren (Streusalze, Schwefeldioxid [mit Feuchtigkeit schweflige Säure]).

Beispiele aus der Praxis

Eis- und Schneeabseilung

Die Anwendung von Chloriden in Form von Tausalzen bei der Beseitigung von Eis und Schnee auf Strassen und Brücken schafft eine korrosive Umgebung. Diese Chemikalien werden durch die Reifen der Fahrzeuge verschleppt und können ungünstige Bedingungen auch im Inneren von Parkhäusern hervorrufen.

Luft- und Wasserverschmutzung

Ungünstige Bedingungen herrschen auch in Gegenden mit stärkerer Luft- und Wasserverschmutzung. Von besonderer Bedeutung sind industrielle Abgase und Kläranlagen, wo die Schwefelwasserstoffkonzentration hoch sein kann.

Bauten in maritimer Umgebung

Die ständige Durchfeuchtung und Wiederaustrocknung im Tidebereich, die Durchfeuchtung durch Meerwasser-Aerosole und Meeresnebel in Küstennähe, die ebenfalls die Bauten befeuchten und austrocknen lassen, bringen ernsthafte Gefahren mit sich.

Anwendung von Betonzusätzen

Die Anwendung von Calciumchloridzusätzen vergrössert die Wahrscheinlichkeit der Korrosion sogar in nur schwach aggressiver Umgebung. Diese Zusätze sind in Deutschland verboten, sie werden jedoch teilweise trotzdem angewandt.

Fundamentierung von Bauten

Korrosion kann auftreten, wenn der Salzgehalt des umgebenden Erdreichs genügend hoch ist, wie im Brackwassergebiet oder in ausgedörrten Wüstengegenden.

Fremdströme

Bauten können der Einwirkung von elektrischen Streuströmen ausgesetzt sein, wie sie beim kathodischen Schutz von Rohrleitungen, der Erdung von Maschinen, zum Beispiel Schweißgeräten oder starken Erdungen durch Kupfer in Kraftwerken und an elektrifizierten Eisenbahnstrecken auftreten.

Entwässerung

Schlechte Entwässerungssysteme können das gesammelte Wasser den Beton durchdringen lassen, statt das Wasser von den Bauten abzuziehen. Ansammlungen stehenden Wassers können auch die natürlichen korrosionsschützenden Bestandteile des Betons auslaugen, wenn das Wasser «weich» ist, also einen niedrigen Calcium- oder Magnesiumgehalt aufweist, oder wenn es in grösserem Umfang Sulfate enthält.

Baubehör und metallische Kleinteile

Abstandshalter, Formanker, Muffen, Rohre, Anker, Aufnehmer und ähnliche Stahlteile werden manchmal ungeschützt auf der Aussenseite von Beton verlegt und können zu Ausgangspunkten für den Beginn der Korrosion werden.

Folgen der Korrosion der Bewehrung

Mit der Rostung der Bewehrung ist zwangsläufig eine Volumenvergrösserung in der Grenzzone Stahl/Beton verbunden, die zum Absprengen von handtellergrossen Betonteilen führt. Eine Korrosion der Bewehrung führt zu Schäden am Beton selbst und zu Veränderung des optischen Charakters der gesamten darunter liegenden Fläche durch Rostfahnen und Läufer.

Warum ist eine Korrosion der Stahlbewehrung heute kritischer? Dies hat eine Reihe von Gründen, so beispielsweise:

- Verwendung der sichtbaren Betonoberfläche als Gestaltungselement
- Erhöhung der Stahlspannungen durch die Verwendung hochwertiger Stahlsorten
- schlankere Gestaltung der Konstruktion aus architektonischen Gründen
- schlankere Gestaltung der Konstruktion durch bessere Werkstoffausnutzung durch verfeinerte Berechnungsmethoden.

Wie kann man Korrosionsschäden verhindern? Durch verschiedene Schutzmassnahmen ist eine Korrosion zu verhindern, und zwar

Aktive Korrosionsschutzmassnahmen

- konstruktiv; Erfüllung der betontechnologischen Voraussetzungen
- kathodischer Schutz
- Werkstoffauswahl; zum Beispiel feuerverzinkter Bewehrungsstahl
- Inhibitoren (Chromate, Natriumbenzoat, Natriumnitrit).

Passive Schutzmassnahmen

- Aussen: Imprägnierungen; Versiegelungen; Beschichtungen
- Innen: Anstriche der Bewehrungen, zum Beispiel mit Bleimennige.

Von den aufgeführten Schutzmassnahmen erscheint aus den mannigfachsten Gründen der Schutz über die Werkstoffauswahl am zweckmässigsten.

Da Zink an feuchter Luft beständiger ist als unlegierter Stahl, kommt dazu u. a. grundsätzlich eine Feuerverzinkung der Bewehrungen in Frage. Feuerverzinkte Bewehrungen werden ausserhalb der Bundesrepublik in steigendem Umfang benutzt. Sie finden namentlich auch in Küstengebieten Verwendung, da die Ansicht besteht, dass verzinkte Bewehrungen auch dem Angriff chloridhaltiger Lösungen besser widerstehen als unverzinkte Bewehrungen.

Dagegen ist in der Bundesrepublik die Verwendung von Stählen mit einer Schutzschicht aus anderen Metallen, einschliesslich Zink, für Spannbeton zurzeit nicht zugelassen.

Sanierung von Stahlbetonbauwerken mit Korrosionsschäden

Nachfolgend ein Beispiel für die Sanierung:

1. Locker liegende Betonstellen mechanisch entfernen (Abklopfen, Abschlagen, Aufstemmen)
2. Freigelegte Bewehrung metallisch blank machen (maschinelle Entrostung, Sandstrahlentrostung [Entrostungsgrad 3-2.213 der RoSt, Sa 3])
3. Korrosionsschutz der Bewehrung mittels Grundbeschichtung (Bleimennige- oder Zinkchromatgrundbeschichtung,

- zum Beispiel auf Epoxidharzbasis). Die Grundbeschichtung muss gleichzeitig als Haftbrücke für die nachfolgende Ausgleichsmasse dienen
4. Ausgleichsmasse (hydraulisch abbindender elastifizierter Ausgleichspachtel)
 5. Dispersionsanstrich zum Schutz der gesamten Oberfläche und Farbgebung.

Je nach Schadensart und Umfang ist zu unterscheiden zwischen glanzflächigem und stellenweisem Aufbringen.

Forschungsergebnisse, die für feuerverzinkte Stahlbewehrung sprechen

Oftmals wird der Verzinkungsschicht eine schlechte Verträglichkeit und ein geringes Haftvermögen zum Beton nachgesagt. Mittlerweile konnten durch die Forschungsergebnisse verschiedener Länder folgende Aussagen untermauert werden:

- Das Haftungsvermögen verzinkten Stahls in Beton ist gleich gut oder besser als bei unverzinktem Stahl
- Durch das Feuerverzinken werden die mechanischen Eigenschaften des Bewehrungsstahls nicht verändert

- Die Zinkablösung kommt im Normalfall nach rd. 7 bis 10 Tagen zum Stillstand. Die absoluten Abtragungswerte bewegen sich zwischen 5 und 7 μm , so dass die Gefahr der Wasserstoffentwicklung und Versprödung nicht gegeben ist
- Die Korrosionsbeständigkeit verzinkten Stahls in Beton ist nach folgenden Methoden geprüft worden: Lagerung bei unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit; Wechselstandversuche in CaCl_2 -Lösungen; Beaufschlagung mit Gleichstrom. Bei allen Untersuchungen zeigten Betonprobekörper mit verzinkter Bewehrung eine erheblich bessere Korrosionsbeständigkeit als Proben mit unverzinkter Bewehrung
- Bei Beschädigungen der Zinkschicht wird auch im Beton der kathodische Schutz des umgebenden Zinks mit nachfolgender Deckschichtbildung voll wirksam
- Tonerdeschmelzzement ist beim Einsatz feuerverzinkten Bewehrungsstahls nicht zu empfehlen.

Adresse des Verfassers: Obering. K. A. van Oeteren, Vereidigter Sachverständiger und Dozent für Korrosionsschutzverfahren (metallische und organische Überzüge), D-4010 Hilden.

Aus der Tätigkeit schweizerischer Korrosionsspezialisten im Jahre 1974

Von H. Schwitter, dipl. Werkstoffing. ETH und Prof. Dr. A. Bukowiecki¹⁾, ETH, Zürich¹⁾

DK 620.197

1. Vorbemerkung

Bei der vorliegenden Übersicht handelt es sich um eine seit 1970 jährlich erscheinende Berichterstattung²⁾. Sie stellt eine erweiterte Fassung des Jahresberichtes dar, den A. Bukowiecki als schweizerisches Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates der Europäischen Föderation Korrosion dieser Organisation periodisch zuzustellen hat. Diesmal hat H. Schwitter die Aufgabe übernommen, die zugegangenen Unterlagen zu sichten und unter Mitwirkung von A. Bukowiecki zusammenzufassen.

2. Mitarbeit in der Europäischen Föderation Korrosion

Die Schweiz war in den leitenden Organen der Europäischen Föderation Korrosion nach wie vor mit zwei Personen beteiligt: Dr. J. Weber, Gebr. Sulzer AG, Winterthur, vertritt die Schweiz seit September 1973 im Direktionskomitee; im Wissenschaftlichen Beirat ist unser Land seit 1969 durch Prof. Dr. A. Bukowiecki vertreten.

In den Arbeitsgruppen der Föderation wirkten im Jahre 1974 die folgenden schweizerischen Korrosionsfachleute mit:

Arbeitsgruppe:

- Inhibitoren: Prof. Dr. H. Böhni (ETHZ), Dr. J. Weber (Gebr. Sulzer)
- Korrosionsschutz von Stahlkonstruktionen: Dr. M. Hochweber (EMPA, Dübendorf), J. Ehrbar (Ciba-Geigy)
- Korrosion durch heisse Gase: E. Erdös (Gebr. Sulzer), Dr. M. Heise (NOK/KKB)
- Korrosion in der Kerntechnik: Dr. M. Bodmer (BBC), Dr. J. Weber (Gebr. Sulzer)
- Prüfmethode der Spannungsrisskorrosion: Prof. Dr. F. Aebi (GRD, Thun), Dr. P. Süry (Gebr. Sulzer)

¹⁾ Während diese Arbeit im Druck war, mussten wir vom unerwarteten, schmerzlichen Hinschied von Prof. Dr. Bukowiecki erfahren, mit dem wir über viele Jahre die besten Beziehungen pflegen durften.

²⁾ Der Bericht des Vorjahres wurde von A. Bukowiecki in den folgenden Zeitschriften veröffentlicht: «Chimia» 28 (1974), 440; «Material und Technik» 2 (1974), 151; «Oberfläche-Surface» 15 (1974), 307; «Schweizerische Bauzeitung» 92 (1974), 868.

- Physikalisch-chemische Prüfmethode: Prof. Dr. H. Böhni (ETHZ), PD Dr. R. Grauer (Alusuisse, Neuhausen), Dr. G. Pini (Gebr. Sulzer)
- Ausbildung: Prof. Dr. H. Böhni (ETHZ), Prof. Dr. A. Bukowiecki (ETHZ).

In der Arbeitsgruppe «Korrosion in Meerwasser» hat die Schweiz bis jetzt keinen Vertreter gesandt.

3. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Korrosionsfragen

Die traditionelle Jahresversammlung dieser Gruppierung schweizerischer Korrosionsfachleute fand auf Einladung der Firma AG Brown, Boveri & Cie. (BBC), Baden, am 30. Oktober 1974 in ihrem Zentrallaboratorium statt. Die Anwesenden wurden durch folgende drei Referate mit den Arbeiten auf dem Gebiet der Korrosionsforschung bei der BBC bekanntgemacht:

- «Schutzschichten und Korrosion bei hohen Temperaturen», G. Faber, dipl. Ing.
- «Beitrag zur Definition der chemischen Umgebung in einem Siedewasserreaktor», Dr. M. Bodmer
- «Schutzschichtbildung beim Einfahren von Wärmetauschern in Meerwasser», Dr. M. Müller.

Anschliessend fand eine Führung durch die Laboratorien der einladenden Firma statt.

Die Jahrestagung 1975 wird im Herbst auf Einladung des Eidgenössischen Instituts für Reaktorforschung (EIR) in Würenlingen abgehalten werden.

4. Vorträge und Publikationen schweizerischer Autoren im Jahre 1974

Nach den den Verfassern zur Verfügung stehenden Informationen sind im Jahre 1974 die folgenden schweizerischen Korrosionsfachleute mit Publikationen und Vorträgen an die Öffentlichkeit getreten:

M. Bodmer (BBC, Baden): Vortrag: Distribution de l'érosion-corrosion et de la corrosion dans un cycle thermique à réacteur BWR et PWR, gehalten anlässlich einer Sitzung der Arbeitsgruppe «Korrosion in der Kerntechnik», Karlsruhe, Oktober 1974;