

Eignung zweier Inhibitoren (MFP und Sika FerroGard-903) zur Instandsetzung von chloridbelasteten Stahlbetonbauten

Zusammenfassung

Inhibitoren sind organische oder anorganische Substanzen, welche die Geschwindigkeit der Korrosion von Metallen reduzieren. Sie können bei Stahlbetonbauten entweder vorbeugend oder nachträglich eingesetzt werden, um einerseits den Beginn von Zerstörungsprozessen zu verhindern bzw. hinauszuzögern, oder um andererseits bereits ablaufende Korrosionsvorgänge zu unterbinden resp. stark zu verlangsamen.

In der Schweiz sind hauptsächlich zwei Produkte für die Instandsetzung von korrodierenden Stahlbetonbauteilen bekannt. Es handelt sich dabei um Sika FerroGard-903 der Sika AG, Zürich, und um MFP der MFP SA, Genf. Beide Inhibitoren werden in mehreren Arbeitsgängen auf die Betonoberfläche aufgetragen.

Um die Wirksamkeit von Sika FerroGard-903 und MFP unter Praxisbedingungen zu prüfen, wurde im Naxbergtunnel, Kt. Uri, ein umfangreicher Feldversuch an Wandelementen aus Stahlbeton durchgeführt. Die Untersuchung hatte zum Ziel:

- die Wirksamkeit der eingesetzten Inhibitoren nachzuweisen
- Erfahrungen für eine effiziente Überwachung von mit Inhibitoren instandgesetzten Stahlbetonbauwerken zu sammeln.

Für den Feldversuch wurden etwa in Tunnelmitte 16 Elemente ausgewählt. Davon standen je sechs Elemente pro Inhibitor zur Verfügung (zwei unbehandelte Referenzelemente und vier behandelte Elemente). Bei zwei weiteren Elementen wurde nach der Behandlung mit FerroGard-903 zusätzlich die Hydrophobierung Sikagard-701W appliziert. Zusätzlich wurden zwei Elemente nur mit Sikagard-701W behandelt.

Vor der Reinigung und der Inhibitor-Applikation wurde der Korrosionszustand der Elemente untersucht. Es wurde festgestellt, dass bei etwa 60 % der ausgemessenen Fläche Korrosionsangriffe an der Bewehrung vorhanden waren. Die maximalen Querschnittsverluste betragen ca. 30 %. Bis zu einer Höhe von 1.5 m lagen die höchsten Chloridgehalte auf Bewehrungsniveau (10 bis 20 mm) zwischen 1.5 und 2.5 M.%/Z. Erst ab mehr als 2.0 m Höhe ab OK Terrain war der Chloridgehalt deutlich kleiner als ca. 1.0 M.%/Z.

Mit verschiedenen Messmethoden wurde versucht, Aufschluss über Veränderungen der Korrosionsgeschwindigkeit und von korrosionsrelevanten Faktoren zu erhalten. Die Instrumentierung vor Ort umfasste:

- Elektrisch isolierte Maschen des Bewehrungsnetzes (Korrosionsstrom, Ausbreitwiderstand, Polarisationswiderstand)
- Mit Widerstandssensoren instrumentierte Bohrkerne (Betonwiderstand)
- Stäbe aus nichtrostendem Stahl (Korrosionsstrom)
- Klimafühler (Beton- und Lufttemperatur, Relative Luftfeuchtigkeit im Tunnel).

Ein Teil der obigen Parameter wurde mittels Datenlogger kontinuierlich aufgezeichnet (Zeitintervall 10 Minuten). Die übrigen Messgrößen wurden in periodischen Handmessungen erhoben (Zeitintervall einige Monate). Vor Ort wurden zudem vollflächige Potenzialfeldmessungen und die Aufnahme von Potenzialprofilen durchgeführt.

Die Auswertung und Beurteilung der Messresultate hat zu folgenden Schlussfolgerungen geführt:

Wirksamkeit der Behandlung mit Sika FerroGard-903 und MFP

- Die Resultate sämtlicher Untersuchungsmethoden weisen darauf hin, dass weder die Behandlung der Versuchselemente mit FerroGard-903 noch jene mit MFP eine Verlangsamung der bereits laufenden, chloridinduzierten Korrosionsprozesse bewirkt hat. Zum Vergleich wurden die vier unbehandelten Referenzelemente herangezogen.
- Eine MFP-Behandlung hat eine Potenzialabsenkung im Oberflächenbeton zur Folge, die man mit der Aufnahme von Potenzialprofilen gut quantifizieren kann. FerroGard-903 verändert das an der Betonoberfläche gemessene Korrosionspotenzial hingegen nicht.
- Für die Beurteilung der Wirksamkeit von Inhibitoren sind Korrosionsstrommessungen gut geeignet, da diese, unabhängig von detaillierten Kenntnissen über die eigentliche Wirkung des Inhibitors, eine direkte Aussage über die Entwicklung des Korrosionsprozesses ermöglichen. Die gemessenen Korrosionsströme sind stark temperatur- und feuchteabhängig. Sie haben sich durch die Inhibitor-Behandlung kaum verändert. Es traten praktisch nur saisonal bedingte Schwankungen auf.
- Der elektrische Betonwiderstand in den Elementen wurde durch die Inhibitoren nicht wesentlich verändert. Nur bei den mit Sikagard-701W hydrophobierten Elementen konnte eine deutliche Zunahme des Betonwiderstandes in den oberflächennahen Zonen festgestellt werden (Austrocknung).
- Die Bestimmung der Inhibitor-Konzentrationen im Beton gibt keine Auskunft über deren Wirksamkeit und lässt nach den vorliegenden Untersuchungen Fragen offen:
 - Notwendiger Inhibitorgehalt bzw. Zielwert auf Bewehrungsniveau (beide Inhibitoren)
 - Wahl der Analysemethode (vorab beim MFP)
 - Berücksichtigung des Grundgehaltes von Phosphor im Beton (vorab beim MFP)
 - Optimierung des Inhibitoreintrages bzw. die erforderliche Eindringtiefe (beide Inhibitoren)
 - Langzeitwirkung: Langzeitstabilität im alkalischen Milieu (beide Inhibitoren) und Herausdiffusion flüchtiger Komponenten (FerroGard)
- Die Schlussfolgerungen aus dem vorliegenden Feldversuch gelten für Bauteile mit chloridinduzierter Korrosion. Über die Wirksamkeit der Inhibitoren bei karbonatisiertem Beton können keine Aussagen gemacht werden.

Eignung der angewandten Messmethoden für die Überwachung

Das gewählte Konzept zur Überwachung von Zustandsveränderungen in den Wandelementen und die Instrumentierung der Versuchsflächen hat sich bewährt. Insbesondere die Kombination von flächendeckenden mit lokalen Messungen ermöglicht klare Aussagen über die zeitliche Entwicklung des Korrosionszustandes. Basis jeder Überwachung muss jedoch eine sorgfältige Zustandserfassung vor der Ausführung von Massnahmen sein.

Die kontinuierliche Aufzeichnung einzelner Messgrößen erlaubt, die starke Abhängigkeit der Korrosion von der Exposition (z.B. Temperatur, Bewitterung) zu jedem Zeitpunkt zu erfassen. Dadurch wird die Interpretation ergänzender Handmessungen, welche in grösseren Zeitabständen durchgeführt werden, wesentlich erleichtert und verbessert.

Dr. F. Hunkeler und H. Ungricht, TFB, Wildegg, Y. Schiegg, SGK, Zürich

Bericht VSS Nr. 554, Juli 2001

Der Bericht kann beim VSS, Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich, bezogen werden.