Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 117 (1999)

Heft: 26

Artikel: Instandsetzung von Sichtbetonfassaden mit Inhabitoren: Ingenieurschule Yverdon

Autor: Brühwiler, Eugen / Plancherel, Pierre

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79758

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: 30.07.2025

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

und Zweck müssen vielen Bauherren und Eigentümern erst noch überzeugend erläutert werden, um ihr Interesse und Verständnis zu wecken. Dies aber ist erforderlich, um auf einer breiten Basis gesicherte Erfahrungswerte und Erkenntnisse zu gewinnen, die Zuverlässigkeit von Instandsetzungen zu erhöhen und deren Kosten zu senken.

Adresse des Verfassers:
Fritz Hunkeler, dipl. Ing. ETH, Dr. sc. techn., Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton, Lindenstrasse 10, 5103 Wildegg

Literatur

[1]
Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Norm SIA 469, Erhaltung von Bauwerken, Zürich 1997

[2]
Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Empfehlung SIA 162/5, Erhaltung von Betontragwerken, Zürich 1997

[3]
Hunkeler F.: Erfolgskontrolle und Überwachung von instandgesetzten Stahlbetonbauten bzgl. Korrosion: Ziele und Elemente. TFB-Veranstaltungsreihe «Instandsetzung von Stahlbetonbauten», Veranstaltung Nr. 98 4820, Schulungszentrum TFB 1998

[4]
Hunkeler F.: Variante «Nichtstun und Überwachen». TFB-Veranstaltungsreihe «Instandsetzung von Stahlbetonbauten», Veranstaltung Nr. 98 4820, Schulungszentrum TFB 1998

[5]
Hunkeler F.: Praktische Erfahrungen mit der Potentialmessung bei Brücken, Erhaltung von Brücken - Aktuelle Forschungsergebnisse. SIA-Dokumentation D 0129, S. 31-46, 1996

[6]
Elsener B.: Elektrochemische Instandsetzungsverfahren - Fortschritte und neue Erkenntnisse, Erhaltung von Brücken - Aktuelle Forschungsergebnisse. SIA-Dokumentation D 0129, S. 47-59, 1996

Eugen Brühwiler, Lausanne, und Pierre Plancherel, Dommartin

Instandsetzung von Sichtbetonfassaden mit Inhibitoren

Ingenieurschule Yverdon

Das für die Instandsetzung der Sichtbetonfassaden gewählte Verfahren mit lokalen Reparaturen und der Behandlung mit Inhibitoren ist kostengünstig und schont die Bausubstanz. Die Nutzung der Gebäude wurde nur minimal tangiert, die sichtbaren Reparaturstellen werden sich mit der Zeit dem Hintergrund anpassen.

Die Gebäude für die Ingenieurschule in Yverdon-les-Bains gingen aus einem 1965 prämierten Wettbewerb hervor, den die Architekten Claude Paillard und Peter Leemann aus Zürich gewonnen hatten. Das 1975 fertiggestellte Bauwerk öffnet sich Richtung Nordwesten zum Neuenburgersee hin mit einer prismatisch zurückgestaffelten Glasfassade (Bild 1); nach Südosten bildet das Bauwerk einen Lärmschutzschild gegen die damals geplante Autobahn (Bild 2). Das Erscheinungsbild der auf einem quadratischen Raster von 3,9 m beruhenden Volumen wird durch den glatt geschalten Beton verstärkt. Die Sichtbetonfassaden prägen den gestalterischen Ausdruck der Gebäude, die 1981 mit dem «Betonpreis» ausgezeichnet wurden.

Im Jahre 1988 wurden an den Fassaden erste sichtbare Schäden infolge Bewehrungskorrosion festgestellt. Danach beschleunigte sich das Schadensbild, weshalb sich der Bauherr 1995 für eine Instandsetzung entscheiden musste, die 1997/98 nach dem Verfahren «Lokale Betonreparatur und Behandlung mit Inhibitoren» ausgeführt wurde.

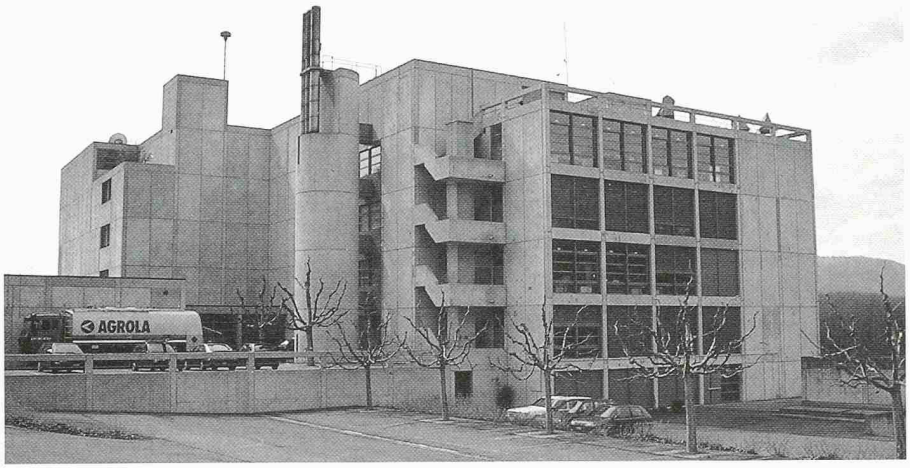
Zustandsbeurteilung

Die Sichtbetonfassaden bestehen aus vorfabrizierten, 8 cm dicken Elementen mit einer Netzbewehrung (Bild 3a), die als Schalelemente für das in Ortbetonbauweise erstellte innere Stahlbetontragwerk dienten. In der Regel betrug die Betonüberdeckung plangemäss 10 mm, an vereinzelten Orten jedoch nur etwa 5 mm. Die Karbonatisierungstiefe variierte stark, erreichte aber in der Regel Werte von etwa 15 mm. Einzelne Betonabplatzungen deuteten auf eine fortgeschrittene Bewehrungskorrosion an besonders exponierten Zonen sowie auf eine örtlich mangelhafte Betonqualität hin. Die Sichtbetonfassaden waren den klimatischen Einwirkungen (Temperaturwechsel, Regen, trocken/nass-Wechsel) ausgesetzt.

Massnahmenplanung

Die Massnahmenplanung erfolgte gemäss Empfehlung SIA 162/5, Art. 6 2, [1,2] in drei Phasen.

1
Ingenieurschule (EINEV) Yverdon-les-Bains: Fassade, Westseite (Bild: E. de Lainsecq, Yvorne)



2
Ingenieurschule (EINEV) Yverdon-les-Bains: Fassade, Südostseite (Bild: E. de Lainsecq, Yvorne)

Phase 1: Zielsetzung

Ausgehend vom Grundsatzentscheid des Werkeigentümers musste die Instandsetzung folgende Anforderungen erfüllen:

- Wirtschaftlichkeit über eine lange Restnutzungsdauer (mehr als 50 Jahre) von Bauwerk und Sichtbetonfassaden
- Die Ästhetik der Sichtbetonflächen darf durch die Instandsetzung nicht beeinträchtigt werden
- Bauarbeiten (Lärm, Dauer der Arbeiten) dürfen den Schulbetrieb nur geringfügig beeinträchtigen
- Schonung der Bausubstanz.

Die Einwirkungen, welche die Dauerhaftigkeit und Sicherheit des Bauwerks beeinträchtigen könnten, wurden im Sinne von Gefährdungsbildern untersucht. Die vier hauptsächlichen Gefährdungsbilder und die entsprechenden Massnahmen sind in Bild 3b bzw. 3c dargestellt.

Im weiteren Verlauf des Aufsatzes wird nur noch auf das Gefährdungsbild «Bewehrungskorrosion» eingegangen. Ausgehend vom Zustand, der mutmasslichen Zustandsentwicklung, den Anforderungen und den Einwirkungen wurden im Hinblick auf die Massnahmen drei Ziele ([1], Art. 5 33) formuliert:

- die Stellen mit Betonabplatzungen zu reparieren,
- die weitere Schadensentwicklung zu stoppen oder wenigstens stark zu verlangsamen und
- noch nicht korrodierende Bewehrungen präventiv zu schützen.

Phase 2: Wahl der Erhaltungsmassnahmen

Die in Bild 4 aufgelisteten Verfahren und Systeme wurden untersucht. Der Variantenvergleich ergab, dass die Variante 2 die Anforderungen am besten erfüllte. Die Varianten 3 und 4 wurden wegen der hohen Kosten und der starken Beeinträchtigung des Schulbetriebs nicht weiter untersucht, während die Variante 1 vor allem wegen der Beeinträchtigung der Ästhetik des Sichtbetons ausschied.

Da das Instandsetzungsverfahren «Inhibitoren» ([1], Art. 6 3) in der Praxis noch wenig bekannt und erprobt ist, wurden - vor der Phase 3 - Vorversuche (Absorptionsversuche) durchgeführt, die positive Ergebnisse lieferten. Zusätzlich wurden zehn verschiedene Reparaturmörtel zwecks farblicher Abstimmung mit dem bestehenden Beton untersucht. Alle Reparaturmörtel wiesen die erforderlichen Haftfestigkeiten nach [1] auf; sie unterschieden sich jedoch farblich und auch von der Oberflächentextur her in den meisten Fällen deutlich vom bestehenden Beton. Die meisten Reparaturmörtel waren zu dunkel.

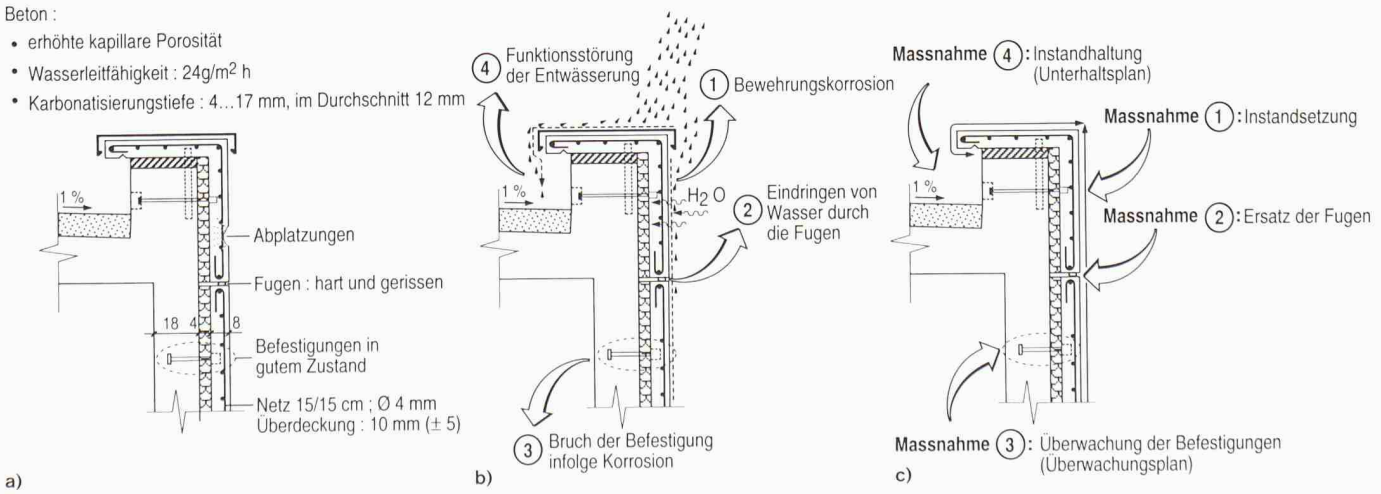
Phase 3: Vorbereiten der Ausschreibung

Die Anforderungen an den Reparaturmörtel und den Inhibitor sowie die für die Ausführung geltenden Bedingungen wurden in den Ausschreibungsunterlagen festgelegt. Die Details über Qualitätsanforderungen, Prüfverfahren und Abnahmekriterien können den nachfolgenden Abschnitten entnommen werden.

Betonreparaturen

Stellen mit Betonabplatzungen wurden nach dem «üblichen» Verfahren (Betonersatz) instandgesetzt, wobei einzelne Fassadenelemente mit ausgeprägtem Schadensbild ganzflächig reprofiliert wurden. Die Reparaturarbeiten verliefen ohne besondere Schwierigkeiten. Das Ergebnis war vom Erscheinungsbild her - trotz der Vorversuche - nicht immer ganz befriedigend, da sich die Reparaturstellen an

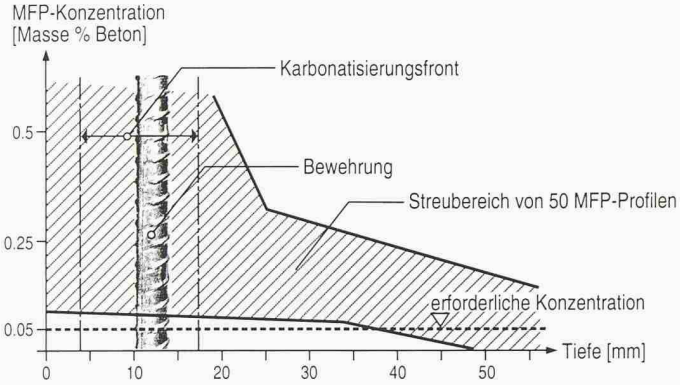
3
Fassadenelemente aus Sichtbeton: a) Zustand, b) Gefährdungsbilder, c) Massnahmen



Variante	Verfahren und Systeme	Kostenschätzung* [Fr./m²]
1	Betonreparatur und starre Dünnbeschichtung (OS 4)	170
2	Betonreparatur und Anwendung eines Inhibitors	170
3	Ersatz der vorfabrizierten Elemente durch neue gleichartige Elemente	390
4	Hinterlüftete Fassade	330–400

* Betoninstandsetzung inkl. Gerüste, Honorare

4
Varianten für die Instandsetzung



6
MFP-Profile

verschiedenen Orten leicht vom bestehenden Beton unterscheiden (Bild 5). Es ist zu erwarten, dass sich diese leicht dunkleren Reparaturstellen mit den Jahren aufhellen und dem bestehenden Beton angleichen. Da sich kleine Reparaturflächen optisch stärker vom bestehenden Beton unterscheiden als grosse Reparaturflächen und die Fassadenflächen keinen einheitlichen Grauton aufweisen, war es grundsätzlich schwierig, die Farbe des bestehenden Sichtbetons mit dem gewählten Reparaturmörtel genau zu treffen.

Inhibitoren

Inhibitoren ([1], Art. 6 3, sowie [3, 4]) werden an der Betonoberfläche appliziert und gelangen vor allem durch kapillares Saugen in den Beton, was einen nicht allzu dichten Beton voraussetzt. Inhibitoren reichern sich an der Phasengrenze Metall/Elektrolyt an und hemmen infolge Absorption oder Filmbildung die Korrosion. Die Wirkung der Inhibitoren besteht in der Beeinflussung der anodischen und/oder der kathodischen Teilreaktion, indem durch die Wirkstoffe eine Schutzschicht auf dem Bewehrungsstahl aufgebaut und dadurch die Korrosionsgeschwindigkeit deutlich vermindert wird. Allerdings sind die Wirkungsmechanismen von Inhibitoren noch nicht im Detail bekannt.

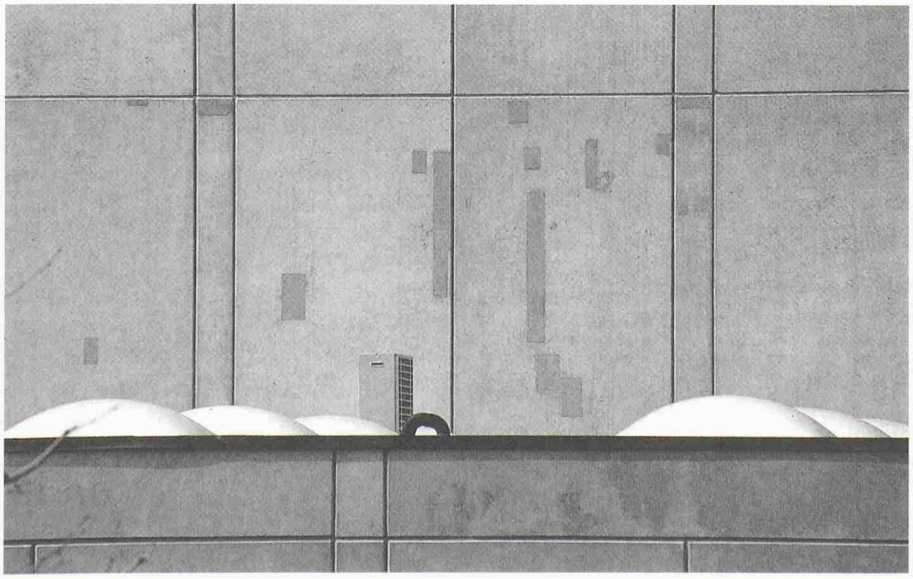
Inhibitoren können bei Stahlbetonbauten entweder vorbeugend oder nachträglich eingesetzt werden, um einerseits den Beginn der Bewehrungskorrosion zu verhindern bzw. wesentlich hinauszuzögern oder anderseits bereits ablaufende Korrosionsvorgänge (bei wenig fortgeschrittener Schädigung) zu unterbinden bzw. zu verlangsamen.

Das Verfahren ist nur dann erfolgreich, wenn der Wirkstoff im Bereich des Bewehrungsstahls in genügender Konzentration vorhanden ist. Diese beiden Hauptbedingungen liefern die Abnahmekriterien bei der Ausführung. Während die Eindringtiefe objektiv und recht zuverlässig bestimmt werden kann, muss in Bezug auf die für die korrosionsinhibierende Wirkung notwendige Konzentration den Angaben des jeweiligen Inhibtorlieferanten «Vertrauen» geschenkt werden.

MFP-Inhibitoren

Die Fassadenflächen der Gebäude der Ingenieurschule wurden mit MFP(Natrium-Mono-Fluoro-Phosphat)-Inhibitoren [5] behandelt, die im günstigsten Angebot enthalten waren. Die einzige Vorsichtsmassnahme bei der Ausführung bestand darin, den MFP-Inhibitor erst sieben Tage nach der Reprofilierung der Betonreparaturstellen zu applizieren, denn MFP wirkt als Abbindeverzögerer. Ausserdem haben an vereinzelten Stellen hoch konzentrierte MFP-Lösungen zusammen mit Auswascheffekten nach starken Regenfällen zu unerwünschten, jedoch leicht entfernbaren Ausblühungen geführt. Für die Qualitätsprüfungen wurden mit chemischen Analysen der Phosophor-Gehalt (und daraus berechnet die MFP-Konzentrationen) in Bohrkernen bestimmt. Dies führte zu dem in Bild 6 dargestellten Ergebnis:

5
Instandgesetzte Sichtbetonfläche mit gut sichtbaren Reparaturstellen (Bild: E. de Lainsecq, Yvorne)



Am Bau Beteiligte

Bauherrschaft:
Canton de Vaud, Service des bâtiments, Lausanne

Projekt und Bauleitung:
P. Plancherel et A. Schmid, Architectes associés SA, Dommartin

Beratung:
E. Brühwiler, ETH Lausanne

Betonarbeiten:
Renesco SA, Renens

Inhibitoren:
Construction Perret SA, Carouge-Genève, und MFP AG (Dr. Malric), Genève

Monitoring:
Flückiger + Bosshard AG, Horgen

- Eindringtiefe: Der Wirkstoff drang bis in Tiefen von mehr als 40 mm und damit weit über die Bewehrungslage hinaus ein.
- Inhibitorkonzentration: Der Lieferant gab die für die Wirkung von MFP notwendige Konzentration bei karbonatisiertem Beton mit 0,05 Massenprozent (bezogen auf den Beton) an, wobei er sich auf Ergebnisse eigener und in Auftrag gegebener Laborversuche stützte [6,7]. Im Bereich der Bewehrung lag die MFP-Konzentration in der Regel deutlich über dieser erforderlichen Konzentration.

Die grosse Bandbreite der MFP-Profile und der Karbonatisierungstiefe ist auf die unterschiedliche Betonqualität (Permeabilität) zurückzuführen. Tendenziell enthalten Stellen mit grosser Karbonatisierungstiefe auch eine höhere Konzentration an Inhibitoren; kleine MFP-Konzentrationen treten bei vergleichsweise dichtem Beton mit wenig fortgeschrittener Karbonatisierung auf. Inhibitoren sind folglich vor allem dort vorhanden, wo es am notwendigsten ist.

Hauptmengen und Kosten

Gesamtfläche der Fassaden:	7200 m^2
Gesamtkosten:	156 Fr./m^2
Aufteilung:	
Betonreparaturen	37%
Inhibitoren	32%
Gerüste	15%
Honorare	10%
Monitoring	2,7%
Diverses	3,3%

Die Ergebnisse der Qualitätsprüfungen waren somit positiv, und es kann eine erfolgreiche Instandsetzung erwartet werden, d.h. die Bewehrungskorrosion sollte nun durch die Inhibitoren gestoppt oder wenigstens stark verlangsamt sein. Da jedoch keine eindeutigen und wirklich schlüssigen Nachweise der Wirkungsweise von Inhibitoren an Bauwerken vorliegen, wurde entschieden, die Erfolgskontrolle mit einem fest installierten Messsystem zur In-situ-Erfassung der Korrosionsparameter zu ergänzen. Dieses Monitoring hat zum Ziel, die Wirksamkeit des Inhibitors über mehrere Jahre hinaus zu verfolgen und den Zustand der Sichtbetonfassaden im Rahmen der Überwachung zu erkennen (siehe folgenden Beitrag).

Folgerung

Die Sichtbetonfassaden der Gebäude der Ingenieurschule in Yverdon-les-Bains wurden nach dem Verfahren «Lokale Betonreparatur und Behandlung mit Inhibitoren» instandgesetzt. Das gewählte Verfahren, das sich in der Ausführung als problemlos erwies, beeinträchtigte die Ästhetik und die Nutzung der Gebäude nur minimal. Mit Hilfe des Monitoring wird die Wirksamkeit der Inhibitoren über mehrere Jahre hinaus verfolgt. Es ist zu hoffen, dass dieses elegante, weil sanfte, bausubstanzschonende und kostengünstige Instandsetzungsverfahren zum Durchbruch gelangt.

Literatur

[1] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Empfehlung SIA 162/5 «Erhaltung von Betontragwerken». Zürich 1997

[2] *Brühwiler E.*: Etude d'interventions (Massnahmenplanung), FBH/FEB-Tagung «Erhaltung von Betontragwerken». SIA-Dokumentation D 0144, 1997, S. 27-36

[3] *Hunkeler F.*: op. cit. [2], S. 37-53

[4] *Elsener B., Büchler M. and Böhni H.*: Corrosion Inhibitors for Steel in Concrete. In: Corrosion of Reinforcement in Concrete - Monitoring, Prevention, Rehabilitation. EFC Series 25, The Institute of Materials, London, 1998

[5] *Malric B.*: MFP inhibiteurs, Fiche technique, MFP AG, F-Divonne, juin 1996

[6] *Alonso C., Andrade C., Argiz C. and Malric B.*: Na_2PO_3F as Inhibitor of Corroding Reinforcement in Carbonated Concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 26, No 3, p. 405-415, 1996

[7] *Raharinaivo R.*: Action des Monofluorophosphates sur la corrosion des armatures dans le béton. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Rapport DT/OAM/AR81-96

Adresse der Verfasser :
Eugen Brühwiler, dipl. Bauing. ETH/SIA, Prof. Dr. sc. techn., MCS - Erhaltung und Sicherheit von Bauwerken, ISS - Institut für Statik und Tragwerke, ETH Lausanne, *Pierre Plancherel*, Arch. HTL, P. Plancherel et A. Schmid, Architectes associés SA, 1041 Dommartin

Aldo Rota und Dieter Flückiger, Horgen

Monitoring nach der Sichtbeton-instandsetzung mit Inhibitoren

Ingenieurschule Yverdon

Da über die Instandsetzung mit Korrosionsinhibitoren erst wenige Erfahrungswerte vorliegen, wird das Objekt überwacht, um zusammen mit Messwerten anderer Objekte die Inhibitorwirkung möglichst frühzeitig quantifizieren zu können.

Das auf S. 583 ff. beschriebene Instandsetzungskonzept der Sichtbeton-Fassadenelemente mit Inhibitoren ist gegenwärtig noch eine neuartige und wenig erprobte Technologie, zu der wenige Erfahrungswerte bezüglich der Dauerhaftigkeit vorliegen. Das Risiko des erneuten Auftretens von Korrosionsschäden während der Restnutzungsdauer des Gebäudes soll daher mit dem im Folgenden beschriebenen Monitoring-System langfristig abgeschätzt werden können.

Durch die permanente Überwachung des Korrosionszustands der Bewehrung und der korrosionsrelevanten Parameter in repräsentativen Fassadenelementen werden langfristig folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Fassadenerhaltung: Entwicklungen, die zu erneuter Bewehrungskorrosion führen, können vor dem Auftreten von Schäden erkannt, und die erforderlichen Massnahmen im optimalen Zeitpunkt ergriffen werden.
- Gewinnung von experimentellen Daten über die Dauerhaftigkeit der Korrosionsschutzwirkung des Inhibitors unter praktischen Einsatzbedingungen: Die instandgesetzten Fassadenelemente dienen dem Feldversuch, der eine intensive und langjährige Beobachtung der Korrosionsschutzwirkung im Massstab 1:1 ermöglicht.