

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 26

Artikel: Korrosionsüberwachung von Bauwerken
Autor: Hunkeler, Fritz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79757>

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: 17.03.2025

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

Fritz Hunkeler, Wildegg

Korrosionsüberwachung von Bauwerken

Das Mittel der zielgerichteten Korrosionsüberwachung soll vermehrt genutzt werden, um einerseits Schäden bei Neubauten und andererseits die Wirkung und Dauerhaftigkeit von Instandsetzungsmassnahmen rascher und sicherer beurteilen zu können. Etablierte Vorgehensweisen dazu existieren noch nicht.

In den letzten fünfzehn Jahren mussten viele Bauwerke wegen ihrer ungenügenden Dauerhaftigkeit, insbesondere wegen Korrosionsschäden an der Bewehrung, instandgesetzt werden. Dabei kamen sehr unterschiedliche Verfahren und Produkte zum Einsatz. Trotz grosser Fortschritte bestehen nach wie vor erhebliche Wissensdefizite und Unsicherheiten bei der Beurteilung der Wirkung und der Dauerhaftigkeit der angewandten Verfahren und Produkte. In der Praxis können sich deshalb die Lösungen für ein und dasselbe Problem technisch und finanziell weit mehr unterscheiden als bei Neubauten.

Diese Situation ist unbefriedigend und Anlass genug, um dort, wo dies sinnvoll erscheint, eine zweckmässige Überwachung zu realisieren und den Wissensstand längerfristig anzuheben. Der beschleunigte Erkenntnisgewinn aus der Überwachung erlaubt eine raschere Umsetzung von verbesserten Massnahmen, Methoden und Vorgehensweisen und reduziert das zukünftige Schadenspotential, was angesichts dessen beträchtlicher Höhe von grosser volkswirtschaftlicher Bedeutung ist.

Der Begriff «Überwachung» ist in der Norm SIA 469 [1] und in der Empfehlung SIA 162/5 [2] definiert: «Feststellen und Bewerten des Zustands mit Empfehlungen für das weitere Vorgehen». Diese Tätigkeit ist in die Gesamtheit der Massnahmen zur Erhaltung von Betontragwerken eingebettet; sie wird vor, während oder nach der Überprüfung, Planung und Ausführung von Instandhaltungs- oder Instandsetzungsmassnahmen ausgeführt. Im Rahmen der Überwachung sind gemäss Norm SIA 469 [1] und der Empfehlung SIA 162/5 [2] folgende grundsätzliche Möglichkeiten vorhanden:

- Beobachtung: Überprüfen der Gebrauchstauglichkeit durch einfache und regelmässige Kontrollen

- Inspektion: Feststellen des Zustands durch gezielte, in der Regel visuelle und einfache Untersuchungen und Zustandsbewertung
- Kontrollmessungen: Messtechnische Überwachung ausgewählter Kenngrössen.

Damit ermöglicht die Überwachung von Bauwerken nicht nur das Erfassen des aktuellen Zustands und der Zustandsentwicklung eines einzelnen Bauwerks und - darauf basierend - die Entscheidungsfindung für das weitere Vorgehen, sondern auch einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn für die Bearbeitung anderer, eventuell ähnlicher Bauten sowie eine raschere Reaktion auf Fehlentwicklungen (z.B. bei Verfahren und Produkten, die sich in der Praxis nicht bewähren). Dies ist wichtig, denn die Zeit, die notwendig ist, um gesicherte Erfahrungswerte aus der Anwendung von neuen Verfahren und Produkten abzuleiten, dauert im Vergleich zu anderen Branchen sehr lange (Schätzung: 15 bis über 20 Jahre). Für die Korrosionsüberwachung gibt es weder Kochrezepte noch etablierte Vorgehensweisen. Es ist ein Defizit hinsichtlich anerkannter Methoden und Erfahrungen auszumachen. Aus dem Gesagten folgt, dass:

- die Notwendigkeit für eine verstärkte, zielgerichtete Überwachung von geschädigten oder instandgesetzten Stahlbetonbauten besteht,
- die dafür erforderlichen Konzepte, Elemente und Erfahrungen zu einem wesentlichen Teil aber erst noch erarbeitet werden müssen.

Ziele der Korrosionsüberwachung

Die Ziele der Korrosionsüberwachung von Bauwerken sind vielfältig:

- Beurteilen der Wirkung und der Dauerhaftigkeit von Schutzmassnahmen, die bereits bei der Erstellung der Bauwerke realisiert wurden.
- Verfolgen der Zustandsentwicklung von geschädigten, aber nicht instandgesetzten Bauwerken,
 - um die Zuverlässigkeit einer Zustandsbeurteilung zu erhöhen,
 - um den optimalen Interventionszeitpunkt zu bestimmen,

- um die Basis für eine gesicherte Prognose der Zustandsentwicklung zu schaffen,
- um grundlegende Informationen für die Evaluation von Instandsetzungsmassnahmen zu beschaffen und
- um die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit bei Bauwerken, bei denen sich eine Instandsetzung zwar aufdrängt, der Zeitpunkt aber hinausgezögert werden muss (z.B. wegen der Nutzung, der übergeordneten Planung, des Verkehrs bzw. der Verkehrsführung oder finanzieller Engpässe), während der Zeit bis zur Instandsetzung dennoch zu gewährleisten

Verfolgen der Zustandsentwicklung, wenn die üblichen Instandsetzungsverfahren nicht angewendet werden können. Dies kann der Fall sein, wenn der dazu erforderliche Betonabtrag aus statischen Gründen nicht möglich ist oder bei der Anwendung von elektrochemischen Instandsetzungsverfahren die Gefahr der Spannungsrissskorrosion droht.

Verfolgen der weiteren Zustandsentwicklung eines Bauteils nach der Beseitigung der Schadensursache. Diese Möglichkeit ist dann von Interesse, wenn Instandsetzungsmassnahmen an einem Bauteil wesentliche Verbesserungen bei einem anderen Bauteil bewirken oder absehbar sind. So führen die Abdichtung der Fahrbrunnplatte einer Brücke und das Auswechseln eines undichten Fahrbrunnübergangs zu einer erheblichen Reduktion der Betonfeuchtigkeit der darunter liegenden Bauteile.

Verfolgen und Beurteilen der Wirkung und Dauerhaftigkeit von ausgeführten Instandsetzungsmassnahmen (Erfolgskontrolle).

Mehrere der vorstehend genannten Ziele der Korrosionsüberwachung können grundsätzlich sowohl bei neuen wie auch bei älteren, noch nicht instandgesetzten Bauten und nach einer eigentlichen Instandsetzung verfolgt werden. In den meisten Fällen ist die Situation nach einer Instandsetzung eines Bauwerks komplexer (z.B. mehr und sehr unterschiedliche Produkte, grössere Zahl von Grenzflächen) als bei einem Neubau bzw. bei einem noch nicht instandgesetzten Altbau.

Im Folgenden wird auf die zu überwachenden Kenngrössen wie auch auf die Elemente der Korrosionsüberwachung von instandgesetzten Bauwerken näher

eingegangen. Dabei wird nicht unterschieden zwischen der

- Erfolgskontrolle bzw. Kontrolle der Wirkung einer Instandsetzung; während oder direkt nach der Ausführung der Instandsetzung im Rahmen der Qualitätslenkung (Kontroll- und Prüfplan gemäss Ausschreibung) und der

- Überwachung des Bauwerks nach der Instandsetzung als mittel- bis langfristige Massnahme, die im Überwachungsplan festgeschrieben und geregelt ist.

Kenngrossen

Bei der Korrosionsüberwachung von Bauwerken stehen die folgenden korrosionsrelevanten Kenngrossen im Vordergrund:

- Korrosionsgeschwindigkeit der Bewehrung
- Ursachen für die Korrosion (pH-Wert, Chloride, Sauerstoff, Betonfeuchtigkeit)
- Zeitliche Veränderung der massgebenden Grössen.

Ergänzend können auch indirekte Nachweise, wie Prüfen der Wirkung von Oberflächenschutzmassnahmen im Labor oder am Bauwerk, zur Beurteilung herangezogen werden. Diese Nachweise basieren auf der Überlegung, dass wegen der wasserabweisenden Wirkung einer Hydrophobierung der Beton eine geringere Wasseraufnahmegeschwindigkeit und damit auch eine tiefere Feuchtigkeit aufweist. Die Frage, ob dies für die mit der Instandsetzung angestrebte Reduktion der Korrosionsgeschwindigkeit ausreichend ist, kann damit jedoch ohne zusätzliche Information nicht beantwortet werden.

Es muss betont werden, dass oftmals keine absoluten Aussagen weder zur Korrosionsgeschwindigkeit noch zu den Ursachen gemacht werden können. Häufig muss man sich mit der Angabe von (relativen) Veränderungen der korrosionsrelevanten Einflussgrössen begnügen (z.B. undichte Abdichtung einer Brückenplatte). Manchmal genügt es auch bereits, das Vorzeichen der Veränderung zu kennen (z.B. Zu- oder Abnahme der Betonfeuchtigkeit, keine Korrosion oder Korrosion bzw. Wiedereinsetzen von Korrosion).

Elemente

Unter dem Begriff «Elemente» der Korrosionsüberwachung von Bauwerken werden hier alle Verfahren und Methoden wie auch Komponenten oder Elektroden zusammengefasst, die eingesetzt werden

Kenngrosse	Untersuchungselement, -methode	Einsatz
Korrosionsgeschwindigkeit	Messung Polarisationswiderstand R_p : · Lineare potentiostatische Polarisationsmessung · Elektrochem. Impedanzspektroskopie · Galvanostat. Pulsmessung (GPM)	mobil/punktuell
Makroelementströme	Herstellung «künstlicher» Makroelemente: · Elektr. isolierte Bewehrungsstäbe · Einbau von Probekörpern als Anoden · Einbau von Fremdkathoden aus nichtrostendem Stahl, Platin oder aktiviertem Titan	fest/punktuell
Potentialmessung	Mobile Referenzelektroden · Permanente Referenzelektroden · Instrumentierte Bohrkerne Linienförmige Referenzelektroden	ganzflächig fest/punktuell fest/linienförmig
Betonfeuchtigkeit	· Darr-Probe · Luftfeuchtigkeitsmessung in Bohrlöchern	(fest, mobil)/punktuell
Elektr. Betonwiderstand vor Ort (Mass für Betonfeuchtigkeit)	· Widerstandsmessgerät (Wenner-Methode) · Elektrochem. Untersuchungsmethoden (analog Korrosionsgeschwindigkeit) · Multiringelektroden · Elektr. isolierte Bewehrungsstäbe · Instrumentierte Bohrkerne (Widerstandsmessung an Bohrkerne) · Einbau von Metallelektroden	mobil/(punktuell) fest/punktuell
Chloridgehalt (Restchloridgehalt, krit. Chloridgehalt, Chloridumverteilung)	· Chloridanalysen von Bauwerksproben (Bohrkern, Bohrmehl) · Chloridsensoren, ggf. eingebaut in instrumentierten Bohrkerne	mobil/punktuell
Sauerstoffgehalt	Einbau eines Stahlstabs oder elektr. isolierter Stahlstab und Einbau einer Fremdkathode (elektrochem. Messung)	fest/punktuell
Instrumentierte Bohrkerne	Einbau verschiedener Elemente in neue oder einem Bauteil entnommene Bohrkerne zur Bestimmung wichtiger Zielgrössen	fest/punktuell
Karbonatisierungstiefe	· Phenolphthaleintest · Potentialprofil	mobil/punktuell
Betontemperatur	Eingemörtelte Temperaturfühler	fest/punktuell
Lufttemperatur	Temperaturfühler	(fest, mobil)/punktuell
Relative Luftfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeitssonde	(fest, mobil)/punktuell

1

Übersicht über die Kenngrossen und die wichtigsten Elemente der Überwachung [3]

können, um die Ziele der Überwachung zu erreichen [3]. Dabei gilt es zu unterscheiden zwischen Elementen, die

- ganzflächige Informationen oder
- punktuelle Informationen liefern können. Bei den Elementen, die punktuelle Informationen liefern, kann weiter unterteilt werden in Elemente, die
 - fest ins Bauwerk integriert (eingebaut) werden oder die
 - mobil sind und daher mehr oder weniger an jedem beliebigen Punkt des Bauteils eingesetzt werden könnten, aber aus verschiedenen Gründen (z.B. wegen des Zeitaufwands für eine einzelne Messung oder des Ausmasses des zerstörenden Eingriffs) nicht zur

ganzflächigen Charakterisierung geeignet sind.

Daraus folgt, dass ganzflächige und punktuelle Informationen aufeinander abzustimmen sind. Bild 1 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Elemente der Überwachung. Praktische Hinweise zur Verwendung und zur Aussagekraft verschiedener Elemente befinden sich in [3].

Überwachungskonzept

Eine qualifizierte, zielgerichtete Überwachung setzt eine gute Planung und ein klares Konzept voraus. Die Bedeutung eines durchdachten Überwachungskonzepts

Bauwerke	Instandsetzung	Elemente der Überwachung
Gebäuseraum einer KVA	Keine	· Chloridgehalt
Brückenträger	Keine	· Potentialmessung · Elektr. Widerstand an elektr. isolierten Bewehrungsstäben · Elektr. Widerstand an Bohrkernen im Labor
Brückenträger (Forschungsprojekt)	Trockenlegen/ Nichtstun	· Potentialmessung · Elektr. Widerstand an elektr. isolierten Bewehrungsstäben · Elektr. Widerstand an Bohrkernen im Labor · Instrumentierte Bohrkern · Chloridanalysen
Widerlager einer Brücke	Keine	· Potentialmessung · Elektr. Widerstand an Bohrkernen im Labor · Rel. Luftfeuchtigkeit in Bohrlöchern
Stützen einer Brücke	Oberflächenschutz (elastische, zementöse Beschichtung)	· Potentialmessung · Elektr. Widerstand an elektr. isolierten Bewehrungsstäben · Elektr. Widerstand an Bohrkernen im Labor
Verkleidungselemente eines Tunnels (Forschungsprojekt)	Keine/Hydrophobierung/ Inhibitoren	· Potentialmessung · Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit mit GPM · Instrumentierte Bohrkern · Elektr. Widerstand an elektr. isolierten Bewehrungsstäben · Elektr. Widerstand an Bohrkernen im Labor · Analysen des Inhibitorgehalts
Rückwand einer Galerie	Vorbeton mit/ohne Betonabtrag	· Potentialmessung · Elektr. Widerstand an Bohrkernen im Labor · Multiringelektroden · Chloridanalysen
Stützen einer Galerie	Betonabtrag/Stahlmantel	· Potentialmessung · Elektr. Widerstand an Bohrkernen im Labor · Multiringelektroden

2

Beispiele der Überwachung von Bauteilen [4]

kann nicht genügend betont werden. Es setzt voraus, dass

- der Ausgangszustand ausreichend genau charakterisiert wird,
- Überlegungen angestellt werden, wie die Messgrößen untereinander in Beziehung gesetzt werden können (Redundanz der Informationen beachten) und
- die maximal und minimal möglichen Aussagen und Folgerungen herausgearbeitet werden.

Aus dem Überwachungskonzept muss hervorgehen:

- warum (Ziele)?
- wie (Methoden, Verfahren)?
- wo (örtlich, ganzflächig)?
- was (Messgrößen)?
- wie häufig (Messzyklus)?

gemessen werden soll. Im Überwa-

chungskonzept muss ausserdem die Art der Erfassung, Auswertung und Darstellung der Daten und der Entscheide sowie der Entscheidungskriterien festgelegt werden. Insbesondere dann, wenn die Schadensentwicklung die Sicherheit von Bauwerken beeinträchtigen könnte, sind zur Beurteilung der Messwerte im Voraus Grenzwerte und die zugehörigen Massnahmen festzulegen:

- Warnwert, bei dessen Überschreiten die Planung von Massnahmen eingeleitet wird
- Alarmwert, bei dessen Überschreiten, die vorgängig geplanten Sofortmassnahmen ergriffen werden müssen.

Es muss betont werden, dass eine grosse Datenmenge noch kein gutes Konzept ausmacht und keine Erfolgsgarantie ist. Unter Umständen werden dadurch nur die

Kosten der Überwachung erhöht, ohne dass daraus gleichzeitig ein entsprechender Erkenntnisgewinn resultiert. Schliesslich geht es auch hier um die Frage des Kosten/Nutzen-Verhältnisses.

Die genaue Zielsetzung und der Umfang der Überwachung werden von einer Reihe verschiedenartiger Faktoren beeinflusst:

- Bereitschaft des Bauherrn
- Alter, Bedeutung, Exposition, Gefährdung des Bauwerks oder Bauteils
- Art und Risiko der Massnahmen bzw. des «Nichtstuns»
- Zugänglichkeit des Bauwerks, Bauteils
- Art der Korrosionsursache (Karbonatisierung, Chloride)
- Erfahrung und Kenntnisstand der Beteiligten.

Beispiele

In Bild 2 sind Beispiele zusammengestellt [3,4], die einige der möglichen Kombinationen von Elementen zur Überwachung von Bauteilen aufzeigen und als Anregung dienen sollen. Bauwerke, die im Wesentlichen nur mit einer Potentialmessung überwacht werden, sind nicht aufgeführt. Ebenfalls enthält die Liste keine Bauwerke oder Bauteile, die mit elektrochemischen Methoden (kathodischer Korrosionsschutz, Chloridentfernung, Realkalisierung) instandgesetzt wurden. Hierfür sei auf die bereits vorhandene Literatur verwiesen [5,6]. Verschiedene der in Bild 2 aufgelisteten Beispiele wurden realisiert, um den minimal notwendigen Aufwand für Instandsetzungen (Nullvariante oder Variante «Nichtstun und überwachen») abzuklären [4].

Folgerungen

In den vorhergehenden Ausführungen wurde auf die technische Notwendigkeit und wirtschaftliche Bedeutung der Korrosionsüberwachung hingewiesen. Die zielgerichtete Überwachung sollte stärker genutzt werden, um geschädigte oder instandgesetzte Bauwerke sowie die heute üblichen Instandsetzungsmassnahmen (Verfahren, Produkte) rascher und sicherer beurteilen zu können als bisher. Eine frühzeitige und rasche Reaktion ist insbesondere bei Fehlentwicklungen notwendig, um das Schadenspotential so tief wie möglich zu halten. Die zielgerichtete Überwachung setzt eine gute Planung und ein klares Konzept voraus.

Die Überwachung von Bauwerken ist heute noch keine Routinetätigkeit. Sinn

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 Wildeggen

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 Baub substanz. Die Nutzung der Gebäude wurde nur minimal tangiert, die sichtbaren Reparaturstellen werden sich mit der Zeit dem Hintergrund anpassen.

dem Verfahren «Lokale Betonreparatur und Behandlung mit Inhibitoren» ausgeführt wurde.

Zustandsbeurteilung

Die Sichtbetonfassaden bestehen aus vorgefertigten, 8 cm dicken Elementen mit einer Netzbewehrung (Bild 3a), die als Schalelemente für das in Ortbetonbau-

weise erstellte innere Stahlbetontragwerk dienen. In der Regel betrug die Betonüberdeckung plangemäss 10 mm, an einzelnen 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.

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 geschalteten 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

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

