

Galvanische Zelle

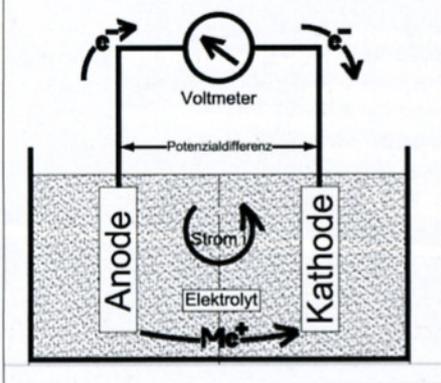


Abb.: Molkenhühn

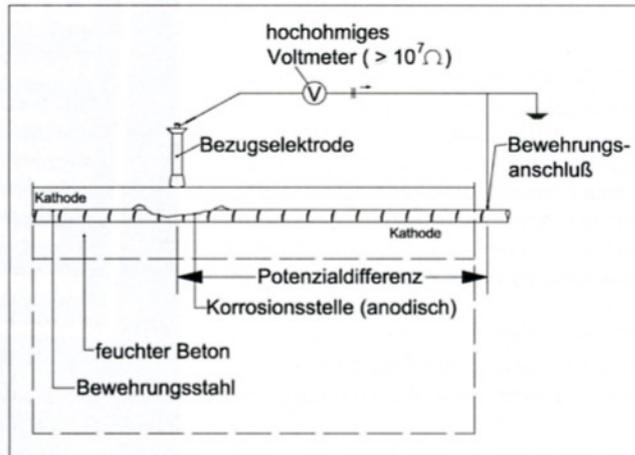


Abb. 1: Ausgangsbasis Messprinzip – Modelldarstellung der Halbzellen im geschlossenen galvanischen Element

Abb. 2: Prinzip der temporären Potentialdifferenzmessung

Unter ständiger Beobachtung

Stationäre Potenzialüberwachungen im chloridbelasteten Beton. Selbst in alkalischen

Porenwassermilieus von Beton können verschiedene Schadensprozesse massive Bewehrungskorrosion auslösen. Für solche metallischen Korrosionen müssen bestimmte Grundvoraussetzungen vorhanden sein. Heute praktizierte Instandsetzungen machen es sich zunutze, dass bei Wegfall solcher Bedingungen die Korrosion zum Erliegen kommt. Derartige Betoninstandsetzungen benötigen fortgesetzte Überwachung – dazu eignet sich die stationäre Potentialdifferenzmessung.

Diese Methode ortet mit Bezugs elektroden aufgrund unterschiedlicher elektrochemischer Potentiale aktive Korrosionsherde. Am Beispiel sanierter Parkhausdecken konnte damit nachgewiesen werden, dass Wasserentzug und Reduktion von Gasdiffusion entscheidend zur Korrosionsabwehr beitragen. Hingegen üben klimatische Verhältnisse der Umwelt nur temporären Einfluss auf das Potenzialverhalten aus.

Die elektrochemische Potentialmessung

Etwa in den 1950er Jahren begannen in Nordamerika erste Versuche mit der elektroche-

mischen Potentialdifferenzmessung (kurz auch: Potentialmessung) zur Bestimmung von aktiven Korrosionszellen an Bewehrungsstählen. In den 1970er Jahren fand dieses Messverfahren auch zunehmend in Europa Anwendung.

Mittlerweile hat sich das zerstörungsfreie Verfahren, insbesondere durch Entwicklung geeigneter Elektroden, zu einem probaten Hilfsmittel des sachverständigen Ingenieurs entwickelt. Heutige Regelwerke [3], [5], [8] und [11] liefern erste Grundlagen, bedürfen aber noch weiterer Fortschreibung.

Das Prinzip der heute bekannten Potentialmessung beruht auf der Verwendung von Bezugs elektroden. Für die praxistauglichen Messungen an Betonbauwerken haben sich Metall/Metallionen-Elektroden durchgesetzt. Der elektrische Spannungsunterschied an aktiven Korrosionszellen kann von

den Bezugs elektroden, die Verbindungen zum Elektrolyt und zum Bewehrungsstahl aufweisen, messtechnisch erfasst werden.

Hierzu findet meist ein hochohmiges Voltmeter den Einsatz. Modellhaft lässt sich das Messprinzip durch zwei korrespondierende Halbzellen beschreiben (Abb. 1).

Diese sind die Halbzelle mit dem Korrosionspotential des Bewehrungsstahls und eine zweite Halbzelle mit dem Ruhepotential der passiven Fremdelektrode. Gemessen wird die Zellspannung ΔE .

Die Potentialdifferenzen zwischen den Halbzellen deuten auf korrosionsaktive und inaktive Bewehrungszonen hin. Ne-

gative Potentiale können dahingehend interpretiert werden, dass Korrosion vorliegt.

Temporäres Messen bevorzugt

Bevorzugt befinden sich Messgeräte zur temporären Potentialdifferenzbestimmung im praktischen Einsatz am Bauwerk (Abb. 2).

Diese dienen zur Erkundung und Diagnostik. Als geeignet haben sich dabei insbesondere Bezugs elektroden aus Kupfer/Kupfersulfat (Cu/CuSO_4) und Silber/Silberchlorid (Ag/AgCl) erwiesen.

Nachteilig für die temporäre Messung wirken sich aber neben bestimmten Einflussfaktoren des inhomogenen Werkstoffs Stahlbeton auch elektrisch isolierende Schichten wie Beschichtungen oder Abdichtungen aus.

Die temporäre Potentialmessung liefert darüber hinaus selbst dem fachkundigen Ingenieur nicht immer klare Befunde über die Wirkung von Korrosionsangriffen an der Bewehrung. In [8] wird sogar der Aussage, dass Bewehrung nicht korrodiert, mehr Zuverlässigkeit beigegeben als der Interpretation von korrosiver Anzeichen.

Stationäres Messen gewinnt Bedeutung

Weniger Verbreitung fände bislang stationäre Messanlagen zur Bestimmung der Potentialdifferenz. Als Überwachungs-

Autor

Dipl.-Ing. André Molkenhühn
Specht, Kalleja + Partner
Beratende Ingenieure GmbH
Berlin

Schlagworte: Bauschäden,
Diagnosegeräte, Messtechnik

Das B+B Online-Archiv
– exklusiv für Abonnenten:

www.bautenschutz-bausanierung.de

systeme für den kathodischen Korrosionsschutz gewinnen jedoch solche Einrichtungen aufgrund normativer Vorgaben [10] an Bedeutung.

Ihr hauptsächliches Anwendungsgebiet erstreckt sich erstens auf die permanente Überwachung von Bauwerksinstandsetzungen und zweitens auf die Abstimmung der elektronischen Schutzsysteme.

Kontrolle von Erfolg und neuer Korrosion

Es soll im Folgenden vor allem die Kontrolle des dauerhaften Erfolgs und die Früherkennung wieder angefachter Bewehrungsstahlkorrosion damit genauer betrachtet werden.

Der wesentliche Unterschied zur einer temporären Potenzialmessung besteht in der Verwendung von fest installierten Bezugselektroden bei der stationären. Meist sind diese in den Beton oder Sanierungswerkstoff eingebettet und liefern permanente Daten über die Veränderung der örtlichen Potentialdifferenz (Abb. 3). Als wesentliche Vorteile der stationären Messmethode sieht der Verfasser deren gewisse Merkmale.

Fallbeispiel Parkhaus-Einsatz

Zu den Bauwerken, die durch ungebundene Chloridionen erheblichen Angriffen ausgesetzt sind, zählen insbesondere Parkhäuser und Tiefgaragen. Bei dem nachfolgend angeführten

Praxisbeispiel handelt es sich um ein 1969 fertig gestelltes und seit über 35 Jahren kontinuierlich betriebenes Parkhaus im norddeutschen Raum. Das seitlich offene Gebäude besteht im Tragsystem ausschließlich aus Stahlbeton.

Die erste Begehung machte deutlich, dass Deckenoberseiten sowie vertikale Bauteile keinen Schutz besaßen. Die Deckenunterseiten waren mit einem Dispersionsanstrich ausgestattet.

Die Stahlbetondecken wiesen durch teils hohe Chloridmigration bei einer Bauteilstärke von 12 Zentimetern massive und systematische Schäden auf. Auffällig war, dass neben der vermuteten narbigen Lochfraßkorrosion durch Chloridinduktion auch und vor allem gleichförmige Abrostungen das Untersuchungsbild prägten.

Die Karbonatisierungstiefe an den geschädigten Decken lag in einem für solche Bauten üblichen Ausbreitungsmaß vor.

Instandsetzung nach W-Cl-Prinzip

Das Instandsetzungsprinzip W-Cl [2] für chloridkontaminierte Stahlbetonbauteile

Merkmale stationärer Messanlagen

- Die Messungen erfolgen immer an exakt gleicher Position.
- höhere Genauigkeit und Reproduzierbarkeit als bei Aufsetzelektroden
- Störfaktoren und Widerstände im Beton bleiben in einem bestimmten, kalkulierbaren Rahmen, etwaige Fehlerfortpflanzung systematisch und stetig.
- in Verbindung mit Datenspeicher ständige Baustellenanwesenheit nicht erforderlich
- Beständige und ununterbrochene Messungen sind möglich.
- Zeitabhängige Störungen können erkannt und bewertet werden.
- Nachteil: Ortsgebundenheit und Erfassung kleiner Ausschnitte

wird in der Fachwelt bekanntlich kontrovers diskutiert. Vornehmlich bei der Frage, ob Betonschichten mit höheren Chloridmengen im Bauwerk verbleiben dürfen, prallen unterschiedliche Standpunkte aufeinander.

Die Komplexität des Themas eröffnet den Raum für verschiedene Anschauungen. Zudem sind selbst die in verschiedenen Regelwerken genannten korrosionsauslösenden Grenzwerte von 0,4 bzw. 0,5 M% (bezogen auf die Zementmasse) umstritten [1].

Die Bauteile des besagten Parkhauses, an denen deutliche Bewehrungskorrosion festzustellen war, erhielten jedenfalls eine flächige und tief greifende Betoninstandsetzung.

Es existierten aber ferner weite Bereiche, in denen trotz auffälliger Chloridkonzentrationen keine flächige oder punktuelle Korrosion und Abrostung am Bewehrungsstahl auftraten. Dort verfolgte die Sanierung unter Entfernen oberflächengeschädigter Schichten haupt-

Grundsätzliche Einsatzüberlegung

Wie die Diskussion zu Betoninstandsetzungsverfahren auch ist: Sachtechnische Einigkeit besteht darin, dass zerstörte Bewehrung vollständig ersetzt und in solchen Fällen die umgebenden Betonschichten weitreichend ausgetauscht werden müssen. Daran orientierte sich auch die Instandsetzung dieses Objekts.

Tabelle 1: Übersicht über Einbauorte, Elektrodenbezeichnung und verbliebene Chloridgehalte

Einbauposition	Elektrodenbezeichnung	max. Cl ⁻ -Konzentration 2002 (M% auf 15 % Zementmasse)	max. Cl ⁻ -Konzentration im Jahre 2005 an Deckenunterseite (M% auf 15 % Zementm.)
Erdgeschoss	RE 01 bis 04	0,96	nicht bestimmt
Ebene 1 B	RE 11 bis 14	0,68	nicht bestimmt
Ebene 2 B	RE 21 bis 24	1,41	nicht bestimmt
Ebene 3 A	RE 31 bis 34	0,56	0,37

Wissen macht stärker: Bautrocknung u.v.m.

Wenn Sie beim Wissen die Nase vorn haben, hat die Konkurrenz das Nachsehen. In den **Expertenschulungen von HEYLO** vermitteln Ihnen erfahrenen Referenten praxisnahes Fachwissen. Ihre Kunden werden Ihr zusätzliches Wissen schätzen. Und Sie wissen ja: Zufriedene Kunden sind treue Kunden! Die Seminar-Termine finden Sie im Internet. Oder rufen Sie einfach an.

HEYLO Expertenschulungen:

- Bautrocknung
- Wasserschadensanierung
- Leckageortung
- Schimmelpilzbeseitigung

HEYLO Drying Solutions GmbH
 Im Finigen 9, 28832 Achim
 Telefon: (0 42 02) 97 55-0
 Telefax: (0 42 02) 97 55-97
 E-Mail: info@heylo.de
www.seminare.heylo.de



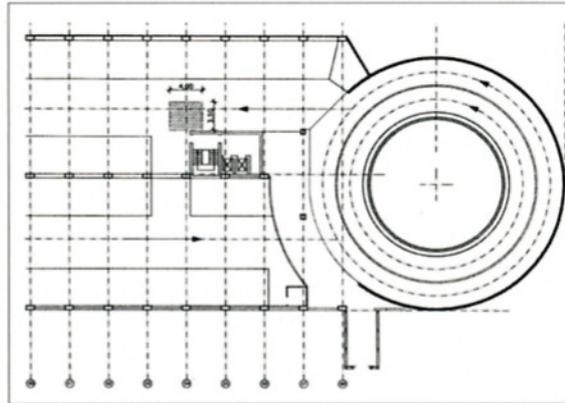
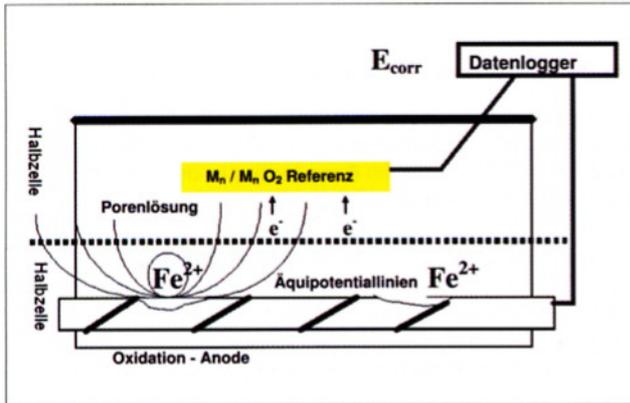


Abb. 3: Prinzip der stationären Potentialdifferenzmessung mit festen Bezugselektroden

Abb. 4: Messbereiche im Geschossgrundriss ...

sächlich das erwähnte Instandsetzungsprinzip W-Cl. Dabei waren die Anwendungsbedingungen nach [2] durch einen – vor wenigen Jahren zuvor lokal aufgetragenen – Oberflächenschutz gegeben.

Die befahrenen horizontalen Flächen, Stellplätze und Fahr-gassen erhielten ein Oberflächenschutzsystem 11b. Hingegen wurden die Deckenunterseiten mit einem Oberflächenschutzsystem 5b ausgestattet.

Messanlage für längeren Zeitraum

Die vorrangige Aufgabe bestand darin, auch nach erfolgreicher Instandsetzung eine Überwachung der Korrosionsaktivitäten in den chloridbelasteten Decken über längere Zeiträume vorzunehmen. Dadurch gelang es, langfristige Messdaten über die Entwicklung von Potentialdifferenzen an den sanierten, aber noch teilweise chloridbelasteten Betonbauteilen zu gewinnen.

Die Anlage bezog die Messdaten aus 16 Referenzelektroden, fest in den Beton installiert, aus Mangan/Mangan-Dioxid (Mn/MnO₂-Elektroden). Jeweils vier Referenzelektroden pro Geschoss bildeten eine Elektrodengruppe und somit einen Überwachungsbereich. Die Elektrodengruppen verteilten sich auf vier Parkdecks,

immer in der Nähe eines Haupttreppenhauses (Abb. 4 und Abb. 5).

Die Aufzeichnung der Messergebnisse begann im Herbst 2003 und erfolgte täglich viermal (zeitlicher Abstand 360 Minuten). Mit Hilfe der gesammelten Messinformationen über den Datenloggers lagen zum Zeitpunkt der ersten Auswertung Potenzialwerte über einen Zeitraum von fast 1 1/2 Jahren vor (Abb. 4 und Abb. 5). Eine Diplomarbeit der TFH Berlin [9] wertete diese Messdaten intensiv aus und stellte den Bezug zu den außenklimatischen Größen her.

Die klimatischen Außenverhältnisse

Die Überwachungsaufgabe stand von Anfang an im Vordergrund. Daher ist es erklärlich, dass keine Messvorrichtungen für die gleichzeitige Aufzeichnung klimatischer und bauphysikalischer Entwicklungen im Parkhaus und im Beton vorgesehen waren.

Für die Aufarbeitung klimatischer Größen musste nun im Nachgang ein äußerer Bezugspunkt gesucht werden. Meteorologische Aufzeichnungen der nahe liegenden Klimastation des Deutschen Wetterdienst (DWD) Hamburg-Fuhlsbüttel halfen, die Klimadaten der Außenluft zu reproduzieren. Die

Klimadaten unterschieden sich in der tageszeitlichen Aufzeichnungsfolge leicht gegenüber denen der Differenzpotenziale im Stahlbeton. Dies konnte aber im Zuge der Auswertungen hinreichend genau abgeglichen werden.

Die Kalibrierung von Außenklimadaten der Wetterstation gegenüber dem Mikroklima des Parkhauses gelang, weil bereits sehr genaue Aufzeichnungen des Innenklimas während der fast einjährigen Sanierungsphase vorlagen.

Die Messergebnisse und Interpretation

In der Literatur lassen sich nur wenige Hinweise finden, wie aufgezeichnete Daten mit Mn/MnO₂-Elektroden entsprechenden Korrosionswahrscheinlichkeiten zuzuordnen sind.

Um nun eine Einordnung der gemessenen Potentialdifferenzen zu gesicherten Vergleichswerten herzustellen, wurde auf die amerikanische Norm ASTM C 876-91 [3] zurückgegriffen. Dort finden sich Referenzspannungen für Mangan-Dioxid- Elektroden, die auch mit einer Aussage über eine zu erwartende Korrosionswahrscheinlichkeit versehen sind. Dabei unterteilt die US-Norm drei, allerdings in der Schadensprognose weit gespannte Bereiche (Abb. 6).

Für die Einschätzung des Korrosionsrisikos nimmt die US-Norm die nachstehende Dreiteilung vor in

- Bereich I: Korrosionswahrscheinlichkeit bis 10 Prozent,
- Bereich II: Korrosionswahrscheinlichkeit bis 50 Prozent und
- Bereich III: Korrosionswahrscheinlichkeit bis 90 Prozent

Daraus wird ersichtlich, dass für Mn/MnO₂-Elektroden dem Spannungsbereich II von -300 mV bis -440 mV besondere Bedeutung zukommt. Höhere Spannungen außerhalb dieser Zone verringern das Korrosionsrisiko erheblich, bei niedrigeren Spannungen nimmt dieses Risiko deutlich zu.

Temperatur und Potentialdifferenz

Fast jede elektrochemische Reaktion wird durch hohe Temperaturen beschleunigt [7]. Dem entgegen steht die Tatsache, dass hohe Temperaturen auch den Trocknungsprozess des Betons fördern (Ausgleichsfeuchte) und sein Porenwasser einen Phasenübergang erfährt.

Um andere Klimafaktoren auszublenden und nur die Temperaturanregung zu filtern, mussten also Perioden gefunden werden, in denen die Luftfeuchte und die Niederschläge für das Objekt vernachlässigbar waren.

Zudem war vorher über die Trägheit zwischen äußerer Einwirkung und innerer Reaktion diskutiert worden. Durch die Dämpfung von Außenluft zur Parkhausluft und die Schwä-

Tabelle 2: Statistische Veränderung der Korrosionswahrscheinlichkeiten

Bereich der Korrosionswahrscheinlichkeit nach ASTM [3]	Aufteilung der Elektroden bei Beginn der Aufzeichnung	Aufteilung der Elektroden bei Ende der Auswertung
Bereich I (bis 10 %)	2	12
Bereich II (bis 50 %)	13	4
Bereich III (bis 90 %)	1	0