Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 44

Artikel: Potentialfeldmessung an den Stützmauern einer Eisenbahnüberführung
Autor: Maier, Johannes / Weder, Christoph
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-86039

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: 08.08.2025

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

Potentialfeldmessung an den Stützmauern einer Eisenbahnüberführung

Das Ausmessen des Potentialfeldes an der Oberfläche von Stahlbetonbauteilen erlaubt heute ein rasches, zuverlässiges und zerstörungsfreies Erkennen von korrodierender Bewehrung. Im folgenden wird ein praktischer Einsatz an einer Eisenbahnüberführung beschrieben und eine Verbesserung der Messausrüstung vorgestellt, die mit Hilfe eines Personal-Computers die sofortige Datenauswertung beim Untersuchungsobjekt ermöglicht.

VON JOHANNES MAIER, WETTINGEN, UND CHRISTOPH WEDER, WALLISELLEN

Für das frühzeitige Erkennen von Korrosionsschäden an Stahlbetonbauwerken werden heute zerstörungsfreie, flächendeckende Untersuchungsmethoden gefordert. Eine Möglichkeit zur Bestimmung des Korrosionszustandes der Bewehrung stellt die Messung des Potentialfeldes dar:

Die Korrosion des im Beton eingebetteten Bewehrungsstahles ist ein elektrochemischer Prozess, bei dem die Bewehrung sowohl die anodische als auch die kathodische Elektrode bildet und der Beton die Funktion des Elektrolyts übernimmt (d.h., es liegt ein galvanisches Element vor). Die Potentialdifferenz zwischen den korrodierenden anodischen und den intakt bleibenden kathodischen Bereichen der Bewehrung erzeugt einen Strom, der durch den Beton fliesst. Dabei entsteht ein an der Betonoberfläche messbares elektrisches Feld. Aus der lokalen Messung dieses Potentialfeldes ist es somit möglich, auf den Korrosionszustand der Bewehrung an der Messstelle zu schliessen. Dazu wird der eine Pol eines hochohmigen Voltmeters mit der Bewehrung verbunden. Der andere Pol wird an eine Referenzelektrode mit bekanntem, konstantem Potential angeschlossen, die auf die Betonoberfläche gepresst wird.

Die Potentialfeldmessung an Stahlbetontragwerken wird in den USA seit anfangs der siebziger Jahre angewendet. Eine ASTM-Richtlinie [1] gewährleistet ein einheitliches Messverfahren und eine vergleichbare Interpretation der Messresultate. An der ETH Zürich wurde 1986 ein Forschungsprogramm begonnen, das weitere Grundlagen für die erfolgreiche Anwendung der Potentialfeldmessung vorlegen soll [2, 3, 4]. In der Praxis konnte die Methode bereits bei verschiedenen Objekten eingesetzt werden (Fahrbahnplatte der Cugniertobelbrücke bei Thusis, der Rheinbrücke Tamins und einer Überführung über die Autobahn N 2 bei Morbio; Fahrbahn im San-Bernardino-Tunnel; Fahrbahnträger der Höllbrücke bei Amsteg, der Reussbrücke Intschi und der Riedbrücke bei Wassen). Die Potentialfeldmessung darf heute als ein taugliches Diagnosehilfsmittel bezeichnet werden, da sie eine beinahe zerstörungsfreie Ortung aktiver Korrosion an den Bewehrungsstäben einer Stahlbetonkonstruktion ermöglicht. Sie erlaubt aber keine Aussagen darüber, wie weit die Korrosion bereits fortgeschritten ist oder wie schnell sie abläuft.

Aufgabenstellung

Anfangs März 1990 erteilte das Büro für Nationalstrassen des Kantons Solothurn der Firma VSL Betonexpert den Auftrag, an der Überführung der SBB-Linie Olten–Biel über die Autobahn N 2 bei Härkingen (siehe Bild 1) Potentialfeldmessungen durchzuführen und aufgrund der Messergebnisse eine Prognose über den Korrosionszustand der Bewehrung auszuarbeiten [5]. Der Untersuchungsauftrag umfasste die beiden Widerlagerwände mit den anschliessenden Flügelmauern sowie die beiden Längsseiten des Mittelpfeilers. Insgesamt musste eine Betonoberfläche von 391 m² untersucht werden.

Durchführung der Untersuchung

Für die Messung des Potentialfeldes an der Betonoberfläche wurden acht an einem Aluminiumrahmen befestigte Kupfer-Kupfersulfat-Referenzelektroden mit Kontaktschwämmen benützt. Der horizontale und vertikale Abstand zwischen den einzelnen Elektroden betrug 0,20 m. Die Messwerte wurden mit einem Datalogger (Colebrand Pathfinder) registriert und auf einem Papierstreifen ausgedruckt. Zum Anschluss der elektrischen Verbindung zwischen Messgerät und Bewehrung wurde an einer Stelle die Betonüberdeckung weggespitzt und ein Loch in den Bewehrungsstahl gebohrt. Um eine gute elektrische Verbindung der Referenzelektroden mit der Betonoberfläche zu gewährleisten, wurden die Kontaktschwämme durch wiederholtes Eintauchen in ein Wasserbecken feucht gehalten. Deshalb konnte darauf verzichtet werden, die Wände vor dem Messen mit Wasser zu bespritzen.

Wie den im Bild 2 dargestellten Ansichten der vier Wände entnommen werden kann, sind die beiden Widerlager und der Mittelpfeiler durch Fugen in mehrere Abschnitte aufgeteilt. Zwischen den bis zu 1 m hohen Sockelbereichen und den oberen Wandteilen befindet sich jeweils ein 0,15 m breiter, horizontaler Absatz. Weil im voraus nicht bekannt war, ob die Bewehrungen der einzelnen Abschnitte miteinander verbunden sind, war bei jedem Wandteil ein separater elektrischer Bewehrungsanschluss notwendig. An diesen Stellen konnten auch der Korrosionszustand

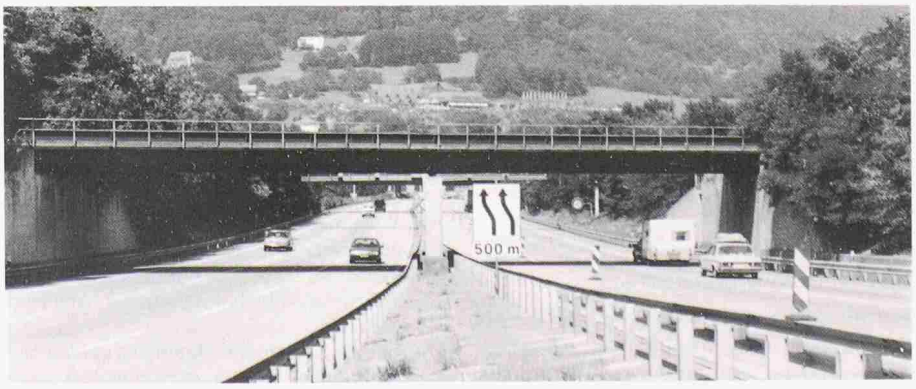

Bild 1. Ansicht der Eisenbahnüberführung bei Härkingen von Süden (links die Fahrspuren der Autobahn N2 von Basel, rechts diejenigen nach Basel)

der Bewehrungsstäbe, die vorhandene Betonüberdeckung sowie die Carbonatisierungstiefe registriert werden. Die Kenntnis dieser Grössen ist für die Interpretation der Potentialfeldmessdaten wichtig. Um die Messstellen in den oberen Wandbereichen erreichen zu können, musste ein fahrbares Gerüst verwendet werden. Zur Erleichterung der Lokalisierung der einzelnen Messstellen wurde vor Messbeginn mittels einer Schlagschnur ein Raster auf die Betonoberfläche gezeichnet.

Ergebnisse der Potentialfeldmessung und der Spitzsondierung

Die während der Messung auf Papierstreifen registrierten Potentialwerte von insgesamt 8872 Messstellen wurden für die weitere Auswertung auf einen Personal-Computer übertragen und dabei mit der Angabe der Messstellenkoordinaten ergänzt. Durch eine Einteilung in Potentialklassen mit einer Schrittweite von 50 mV konnten anschliessend Potentialfeldkarten erzeugt werden: Jede Messstelle ist durch ein in Funktion des gemessenen Potentials mehr oder weniger dunkles Quadrat dargestellt. Als Beispiel zeigt das Bild 3 das Potentialfeld des Mittelteiles der Widerlagerwand West.

Zur statistischen Analyse der Messdaten wurde die Summenhäufigkeitsverteilung der gemessenen Korrosionspotentiale ermittelt und graphisch dargestellt. Im Bild 4, welches das Ergebnis für die gesamte Widerlagerwand West präsentiert, ist die vertikale Achse so skaliert, dass eine normal verteilte Grösse eine gerade Linie ergäbe. Weil der für die Messungen benützte Datalogger einen beim Potential 0,00 V nach oben beschränkten Messbereich besitzt, wurden in der statistischen Auswertung nur die Messstellen berücksichtigt, deren Potential tiefer als diese Grenze lag. Ohne diese Massnahme würde die Darstellung verfälscht. Für die vier Bauteile ergaben sich die folgenden Grundgesamtheiten:

Widerlager Ost:	3207 Messstellen
Mittelpfeiler Ostseite:	995 Messstellen
Mittelpfeiler Westseite:	951 Messstellen
Widerlager West:	3719 Messstellen.

Die im Bild 5 dargestellten Resultate der Spitzsondierungen an den insgesamt 37 elektrischen Bewehrungsanschlussstellen lassen sich gemäss Tabelle 1 zusammenfassen. Dort, wo die Carbonatisierungsfront die Bewehrung bereits erreicht hatte (im Bild 5 die Punkte oberhalb der ausgezogenen Linie), war in jedem Fall eine Korrosion des Stahles feststellbar. Auch an den im Bereich eines Risses oder Kiesnestes liegenden Sondierstellen waren die Bewehrungsstäbe korrodiert.

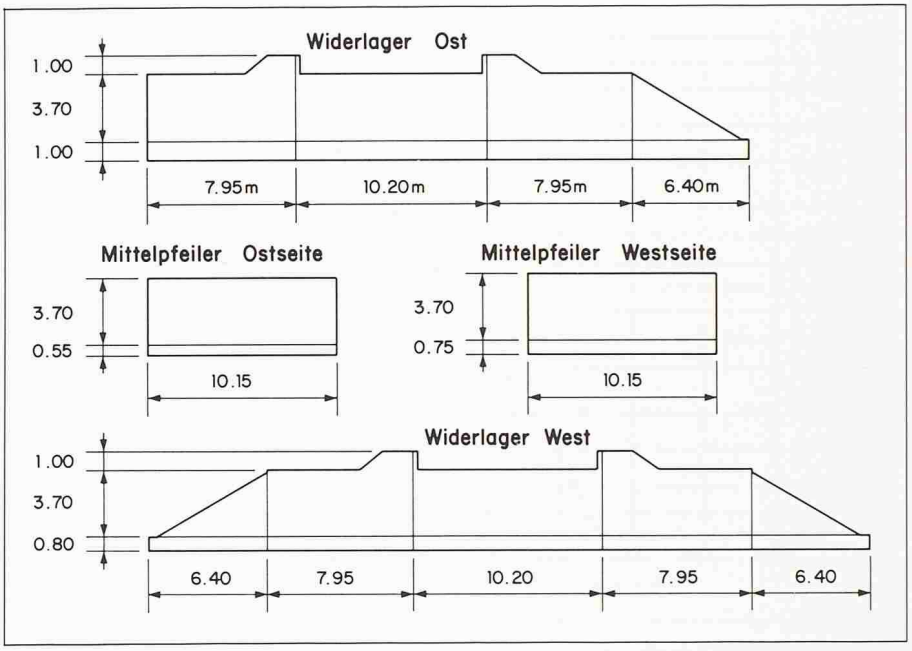

Bild 2. Ansicht der untersuchten Wände

Korrosionszustand der Bewehrung

In der Literatur wird sehr häufig ein Potential von ≦ −350 mV als Bedingung für eine mit 95%iger Wahrscheinlichkeit korrodierende Bewehrung angegeben. Für die untersuchte Eisenbahnüberführung wird dieser Grenzwert unterschritten

- beim Widerlager Ost von 5,6% der Messstellen,
- bei der Ostseite des Mittelpfeilers von 11,5% der Messstellen,
- bei der Westseite des Mittelpfeilers von 9,6% der Messstellen und
- beim Widerlager West von 12,5% der Messstellen.

Die Potentialfeldkarten zeigten, dass die Stellen mit einem Potential ≦ −350 mV sich vor allem auf die Sockelbereiche der Wände konzentrieren. Auch bei den durch nicht entfernte Stahlverschubbahnen verursachten horizontalen Rissen an den oberen Rändern der eigentlichen Widerlager und des Mittelpfeilers liegen die gemessenen Potentiale zum Teil unter dieser Grenze. Dass besonders in diesen zwei Zonen tiefe Potentiale gemessen wurden, ist naheliegend:

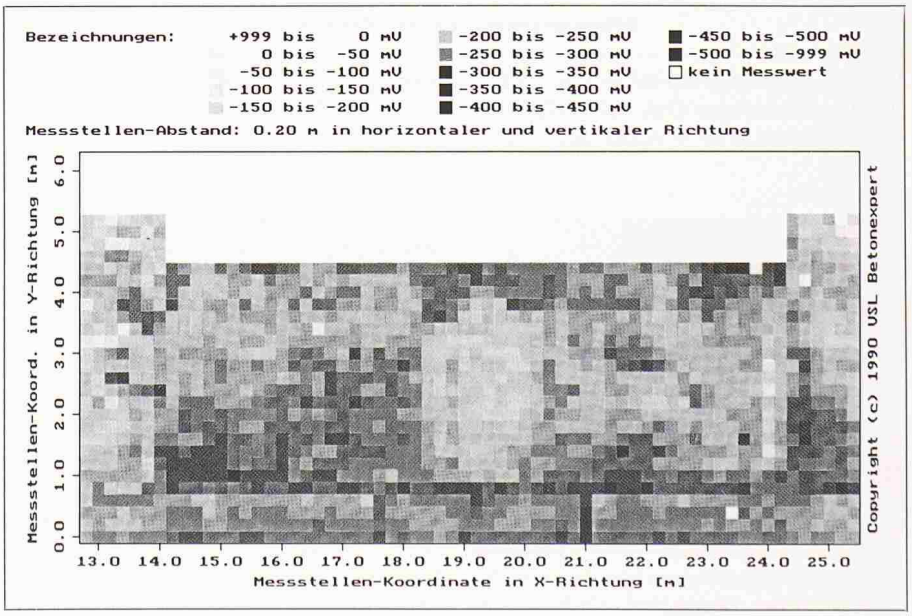

Bild 3. Potentialfeldkarte des Mittelteils der Widerlagerwand West

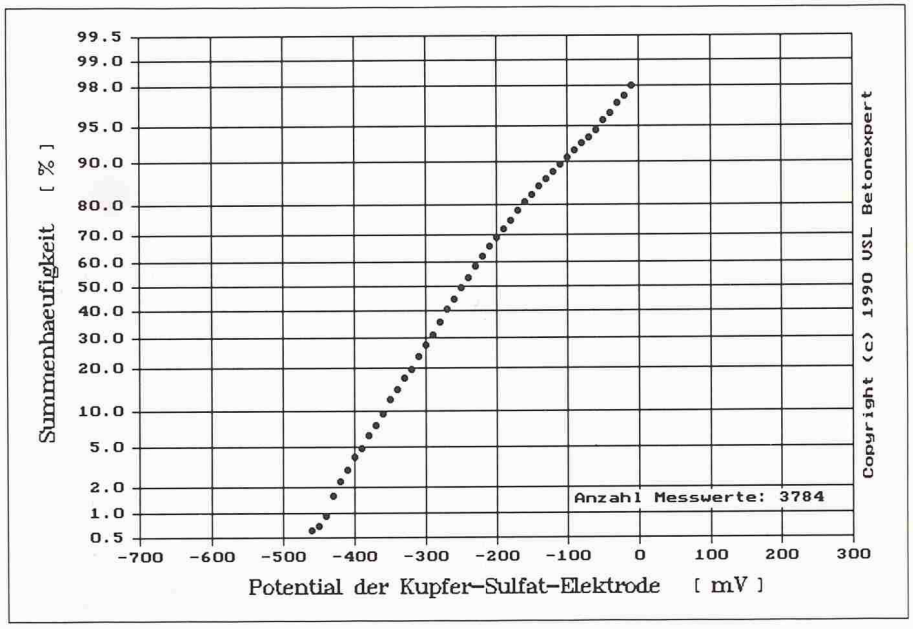

Bild 4. Summenhäufigkeitsverteilung des Korrosionspotentials an der Widerlagerwand West

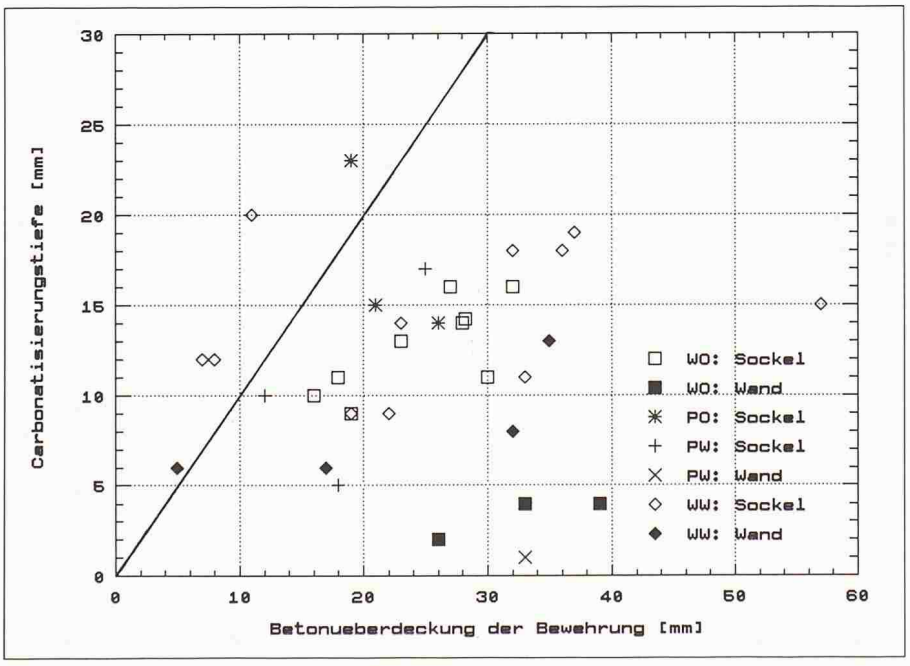

Bild 5. Beziehung zwischen der Carbonatisierungstiefe und der Betonüberdeckung (WO = Widerlager Ost, PO = Ostseite des Mittelpfeilers, PW = Westseite des Mittelpfeilers und WW = Widerlager West)

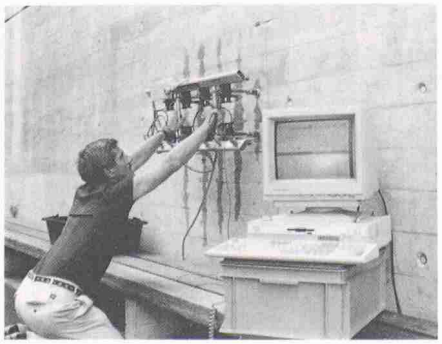

Bild 6. Potentialfeldmessgerät mit Signalverstärker, Messkabel und Personal-Computer

□ Im Sockelbereich ist der Chloridgehalt infolge des Winterdienstes auf der Autobahn erhöht. Ausserdem war die gemessene Betonüberdeckung der Bewehrungsstäbe an einigen Stellen geringer als im oberen Wandteil.

□ Die klaffenden Risse an den oberen Rändern führen zu tieferen Potentialen, da sie den Stromfluss durch den Beton erschweren.

Zur Kontrolle der ersten Ursachenhypothese wurden nachträglich am Widerlager Ost und an der Ostseite des Mittelpfeilers an einigen Stellen mit sehr tiefem Potential Bohrmehlproben entnommen und auf ihren Chloridionengehalt untersucht [6]. Die dabei gemessenen Werte bestätigten vollumfänglich die Ergebnisse der Potentialfeldmessung.

Als Kennzeichen für eine mit 95%iger Wahrscheinlichkeit nicht korrodierende Bewehrung gilt ein Potential von ≧ −200 mV. Währenddem beim Widerlager Ost 64,3%, bei der Ostseite der Mittelstütze 67,1% und bei der Westseite der Mittelstütze sogar 69,3% der Messstellen diesen Grenzwert nicht erreichen, sind es beim Widerlager West nur 30,4% der Messstellen, die ein Potential ≧ −200 mV besitzen. Bei diesem Bauteil zeigten auch die Spitzsondierungen mehrere Stellen mit korrodierender Bewehrung.

Zeitlicher Aufwand und Kosten der Untersuchung

Bei der Offertstellung wurde mit einem zeitlichen Aufwand für die Durchführung der Messungen sowie die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse von total zwölf Arbeitstagen gerechnet. Diese Vorgabe konnte eingehalten werden. Die nach Übergabe des Untersuchungsberichtes an den Auftraggeber erstellte Nachkalkulation ergab folgende Aufteilung des Aufwandes:

Vorbereitungsarbeiten:	7%
Messungen und Arbeiten am Objekt:	64%
Auswertung und Berichterstattung:	21%
Material und Spesen:	8%.

Für die Potentialmessung allein betrugen die Kosten pro Quadratmeter untersuchte Betonoberfläche Fr. 35.–. Werden alle zusätzlichen Aufwendungen eingerechnet, d. h. Bestimmung der Carbonatisierungstiefe, der Betonüberdeckung und des Chloridgehaltes, erhöht sich der Quadratmeterpreis auf Fr. 47.–. Diese Kosten steigen sehr stark an, wenn das zu untersuchende Objekt einen komplizierten Messvorgang erfordert und die Zugänglichkeit erschwert ist. Das Schreiben der für die Auswertung benötigten Computer-Programme ist in den obenstehenden Zahlen nicht berücksichtigt.

Weiterentwicklung der Messausrüstung

Um in Zukunft die mühsame und fehleranfällige nachträgliche Eingabe der Messnetzgeometrie und der Messwerte in den Computer zu vermeiden, drängte sich nach Abschluss der Untersu-

chungen an der Eisenbahnüberführung eine Weiterentwicklung der Messausrüstung auf.

Die heute als Ergänzung zu Personal-Computern erhältlichen, durch ein Programm steuerbaren Messkarten können ohne weiteres die Funktion eines Dataloggers übernehmen: Sie erlauben den gleichzeitigen Anschluss von mehreren analogen Signalquellen, welche nacheinander mit dem Analog-Digital-Wandler der Karte verbunden werden; die digitalisierten Messwerte werden anschliessend durch den Computer wie normale Berechnungsdaten gespeichert. Die Steuerung der Messkarte erfolgt über ein Treiberprogramm, das durch ein vom Benützer geschriebenes Hauptprogramm aufgerufen wird. Die Messkartenhersteller bieten solche Treiberprogramme für alle gängigen Programmiersprachen (Basic, C, Fortran und Pascal) an. Im Hauptprogramm können auch weitere Funktionen, wie z.B. Einheitenumwandlung, graphische Darstellung und statistische Auswertung der Daten, eingebaut werden.

Gerade für den Einsatz bei Potentialfeldmessungen erschien diese Kombination von Personal-Computer und Messkarte eine vielversprechende Verbesserung der Messausrüstung ohne übermässigen finanziellen und zeitlichen Aufwand zu erlauben. Die von den Verfassern realisierte, im Bild 6 gezeigte Lösung besteht aus den folgenden Teilen:

□ Die Kupfer-Kupfersulfat-Referenzelektroden und der zugehörige Befestigungsrahmen wurden vom ursprünglichen Messgerät (Colebrand Pathfinder) übernommen. Die stark korrodierten Stecker erforderten eine Erneuerung der elektrischen Verdrahtung.

□ Um längere Signalübertragungswege – bis 50 m – und damit auch eine grössere Unabhängigkeit bei der Aufstellung des Computers zu erreichen, werden in einem am Messrahmen befestigten Kästchen die Signale aller Referenzelektroden separat verstärkt (Verstärkungsfaktor 5). Die am gleichen Ort erfolgende Auftrennung der gemeinsamen Verbindung zur Bewehrung ermöglicht die weniger störungsanfällige differentielle Messung der Korrosionspotentiale. Dieser Vorteil muss aber durch ein bedeutend dickeres Messkabel erkauft werden. Das Messkabel enthält auch die zur Stromversorgung der Verstärker dienenden Drähte.

□ An der eingesetzten Messkarte (Metrabyte DAS-16) lassen sich gleichzeitig acht differentielle Signalquellen anschliessen. Die im Bereich zwischen

Bauteil und Anzahl Sondierstellen	Betonüberdeckung [mm]	Carbonatisierungstiefe [mm]	Verhältnis zwischen Betonüberdeckung und Carbonatisierungstiefe
Widerlager Ost Sockelbereich: 9	16 bis 32	9 bis 16	1.6 bis 2.7
Widerlager Ost oberer Wandteil: 4	26 bis 40	2 bis 4	8.3 bis 13.0
Mittelpfeiler Ostseite Sockelbereich: 3	19 bis 26	14 bis 23	0.8 bis 1.9
Mittelpfeiler Ostseite oberer Wandteil: 1	24	—	—
Mittelpfeiler Westseite Sockelbereich: 3	12 bis 25	5 bis 17	1.2 bis 3.6
Mittelpfeiler Westseite oberer Wandteil: 1	33	1	33.0
Widerlager West Sockelbereich: 11	7 bis 57	9 bis 20	0.6 bis 3.8
Widerlager West oberer Wandteil: 5	5 bis 35	6 bis 13	0.8 bis 4.0

Tabelle 1. Resultate der Spitzsondierungen

−10 und +10 V liegenden analogen Signale werden durch den mit 12 bit Auflösung arbeitenden Analog-Digital-Wandler in Werte zwischen −2047 und +2047 umgewandelt. Die gewählte Messfrequenz beträgt 2000 Hz. Die Messkarte liefert auch die für die Versorgung der Verstärker notwendige konstante Spannung von 5 V.

□ Die Messkarte ist auf einem langen Steckplatz in einem Personal-Computer mit AT-Bus (IBM PS/2 Model 30 mit Festplatte und VGA-Farbbildschirm) eingebaut, der sonst für normale Büroarbeiten benützt wird.

□ Das der Steuerung der Messkarte und der Datenaufbereitung dienende Programm Potifeld ist in Turbo-Pascal geschrieben. Zur Verbesserung der Messqualität wird die Spannung jeder Referenzelektrode fünfzigmal gemessen und anschliessend ein Mittelwert bestimmt.

Mit Hilfe des Programms Potifeld ist es nun möglich, gleichzeitig mit der Messdatenerfassung auch die Lage aller Messstellen zu registrieren. Durch die Integration der für die Auswertung der Messungen an der Eisenbahnüberführung geschriebenen Programme zur graphischen Darstellung der Messwerte und zur Berechnung der Häufigkeitsverteilung hat der Benützer jederzeit die Möglichkeit, die Resultate zu kontrollieren. Um die Programmanwendung zu erleichtern, erfolgt die Eingabe

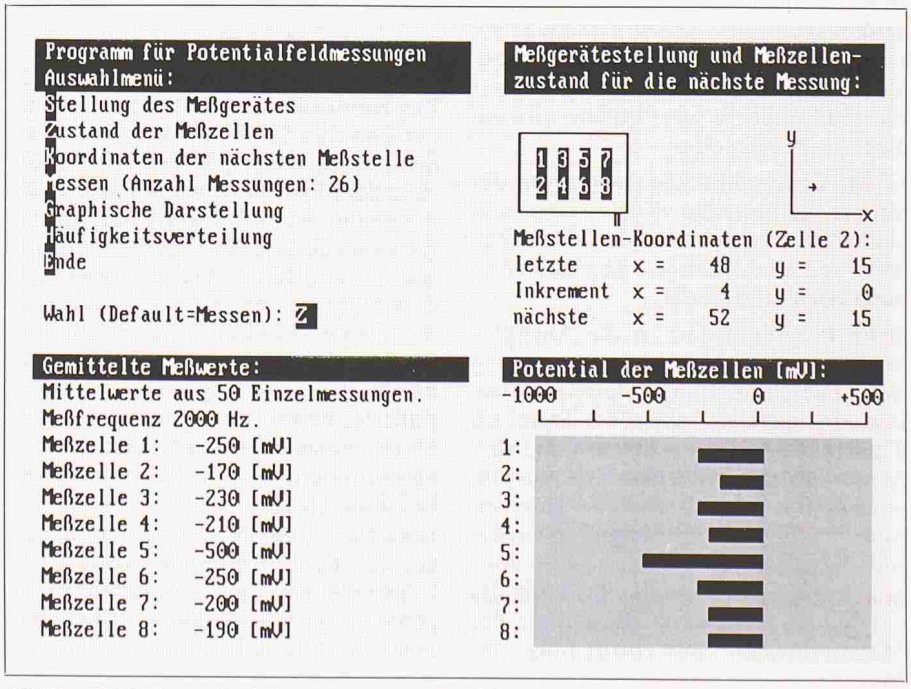

Bild 7. Bildschirminhalt des Programms Potifeld während des Messens

mit einem über die Tastatur des Computers gesteuerten Menü. Das Bild 7 zeigt den Bildschirminhalt während des Messens:

□ Das linke obere Viertel enthält das aktuelle Auswahlmenü mit den folgenden Möglichkeiten:

- Stellung des Messgerätes: Dient zum Drehen des Messgerätes um 90, 180 oder 270°.
- Zustand der Messzellen: Erlaubt die vorübergehende Inaktivierung einzelner Referenzelektroden.
- Koordinaten der nächsten Messstelle: Ermöglicht die Änderung der Koordinaten der folgenden Messstelle oder die Wahl eines neuen Koordinateninkrementes für die automatische Registrierung der Messnetzgeometrie.
- Messen: Löst die Messung aus und speichert die neuen Messwerte.
- Graphische Darstellung: Zeigt eine in zwölf Stufen eingeteilte Potentialkarte (siehe Bild 3).
- Häufigkeitsverteilung: Berechnet die Häufigkeitsverteilung der Messwerte und zeigt die Summenhäufigkeitskurve in einem Diagramm mit normalverteilter Skalierung (siehe Bild 4).
- Ende: Beendet die Programmausführung.

□ Im linken unteren Viertel können die numerischen Werte der zuletzt gemessenen Korrosionspotentiale abgelesen werden.

□ Das rechte obere Viertel dient zur Überwachung der Messnetzgeometrie. Das entsprechend seiner Stellung dargestellte Messgerät gibt den Aktivitätszustand der einzelnen Elektroden durch einen grünen oder roten Hintergrund an. Die Koordinatenangaben (letzte Messstelle, Inkrement und nächste Messstelle) beziehen sich immer auf die Elektrode in der linken unteren Ecke des Messgerätes.

□ Mit der graphischen Darstellung der zuletzt gemessenen Korrosionspotentiale in der rechten unteren Bildschirmecke soll die Überwachung der Messung erleichtert werden.

Beim Programmstart ist die Anzahl – höchstens acht – und die Anordnung der angeschlossenen Referenzelektroden einzugeben. Ausserdem kann ein Titeltext für die graphischen Darstellungen festgelegt werden. Die Ausführung des Programms lässt sich jederzeit unterbrechen und anschliessend wieder mit der gleichen Messwertedatei fortsetzen. Einzig die Speicherkapazität des Computers beschränkt die Grösse der Messwertedatei. Zur Bedienung der Messausrüstung werden zwei Personen benötigt. Das relativ geringe Gewicht des Messrahmens lässt auch längeres Arbeiten an Wänden und Untersichten zu.

Mit der hier beschriebenen Ausrüstung reduziert sich die nachträglich notwendige Auswertungsarbeit auf die Interpretation der Resultate. Der für eine gute Qualität der Messung notwendige Vorbereitungsaufwand, insbesondere das Präparieren der elektrischen Anschlussstellen und das Markieren des Messrasters auf der Betonoberfläche, bleibt gleich wie beim Einsatz des ursprünglichen Messgerätes. Die Möglichkeit, die Messergebnisse jederzeit in graphischer Form zu kontrollieren, erlaubt den gezielteren Einsatz der zur Verfügung stehenden Mittel und erleichtert das Erkennen von Messfehlern.

Zusammenfassung

Zur Kontrolle des Korrosionszustandes der Bewehrung in den Widerlagerwänden und im Mittelpfeiler der Überführung der SBB-Linie Olten–Biel über die Autobahn N2 bei Härkingen wurden flächendeckende Potentialfeldmessungen durchgeführt. Dabei ergab sich, dass einerseits bei 58% der untersuchten 391 m² Wandfläche Korrosion ausgeschlossen werden darf. Bei 10% der Fläche muss andererseits aber mit korrodierter Bewehrung gerechnet werden. Durch ergänzende Untersuchungen – Spitzsondierungen zur Bestimmung der Betonüberdeckung, der Carbonatisierungstiefe und des Korrosionszustandes der Bewehrungsstäbe sowie Chloridgehaltsmessungen – konnten die Ergebnisse der Potentialfeldmessungen in jeder Beziehung bestätigt werden. Die besonders in den unteren Wandteilen extremen Potentialwerte und sehr hohen Chloridgehalte müssen auf den intensiven Gebrauch von Streusalz zurückgeführt werden.

Um ähnliche Untersuchungen in Zukunft effizienter durchführen zu können, wurde die Messausrüstung verbessert. Durch den Einsatz eines mit einer Messkarte ausgerüsteten Personal-Computers können die Messdaten direkt am Einsatzort ausgewertet werden: Das der Steuerung der Messung dienende Programm erlaubt die graphische Darstellung der gemessenen Potentiale in Form von Potentialkarten und eine statistische Analyse.

Bei dieser Gelegenheit möchten die Verfasser es nicht versäumen, Herrn Dr. *B. Elsener* vom Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion der ETH Zürich für seine Unterstützung zu danken. Auch das Büro für Nationalstrassen des Kantons Solothurn möchten wir in unseren Dank einschliessen. Denn sein Untersuchungsauftrag war der auslösende Impuls für die Weiterentwicklung der Messausrüstung.

Adresse der Verfasser: Dr. sc. techn. *Johannes Maier*, dipl. Bau-Ing. ETH, Winzerstrasse 42B, 5430 Wettingen, und *Christoph Weder*, dipl. Bau-Ing. ETH, VSL Betonexpert, Industriestrasse 48, 8304 Wallisellen.

Literatur

[1] American Society for Testing and Materials: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, ASTM C 876-87, Philadelphia, Juli 1987.

[2] *Bernhard Elsener:* Elektrochemische Methode zur Bauwerksüberwachung, SIA-Dokumentation D 020, S. 27–37, Zürich, 1988.

[3] *Bernhard Elsener:* Grundlagen und Anwendung der Potentialfeldmessung, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion, ETH Zürich, interner Bericht, 1988.

[4] *Bernhard Elsener, Stephan Müller, Martin Suter und Hans Böhni:* Corrosion Monitoring of Steel in Concrete – Theory and Practice, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion, ETH Zürich, Beitrag zum Third International Symposium on Corrosion of Reinforcement in Concrete Constructions, Wishaw GB, Mai 1990.

[5] *Johannes Maier und Christoph Weder:* Potentialfeldmessungen an der SBB-Überführung X3 über die Autobahn N2 bei Härkingen, VSL Betonexpert, Bericht Nr. 90009, Wallisellen, Mai 1990.

[6] *Christoph Weder:* Chloridgehaltsmessungen an der SBB-Überführung X3 über die Autobahn N 2 bei Härkingen, VSL Betonexpert, Bericht Nr. 90009/1, Wallisellen, Juli 1990.

Artikelreihe «Bauerneuerung»

Aus Anlass des 60. Geburtstages von Prof. R. Fechtig sind bisher folgende Beiträge unter der Gesamtkoordination von Dr. Johann W. Schregenberger erschienen:

Heft 1-2/91, Seiten 2ff. und 4ff.
Heft 4/91, Seiten 58ff. und 62ff.
Heft 3/91, Seite 87ff.
Heft 11/91, Seite 246ff.
Heft 30-31/91, Seite 740ff.
Heft 40/91, Seite 952ff.