

# Risiken und Folgeschäden bei der örtlichen Instandsetzung

## Über die Erfassung der makrogalvanischen Aktivität bei lokaler Instandsetzung

Franz Pruckner  
V&C Kathodischer Korrosionsschutz GmbH, A-3031 Pressbaum, Österreich  
franz.pruckner@vc-austria.com  
www.vc-austria.com

### Zusammenfassung

Seit bereits Mitte der 1950-er Jahre wird die Technik der Potentialfeldmessung zur Einschätzung der Korrosionsrisiken von Bewehrung in Beton verwendet. Da das elektrochemische Bewehrungspotential durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst wird, erfordert die korrekte Interpretation von Potentialkonturdiagrammen große Erfahrung. In der folgenden Arbeit wird gezeigt, wie die elektrochemische Potentialfeldmessung mit der Kartographierung des Betonwiderstandes kombiniert werden kann, um die Schwierigkeiten und Unsicherheiten der Interpretation der Potentialfeldmessung zu minimieren. Bei der Bestimmung der gemessenen Potentialdifferenzen, gewichtet mit den spezifischen Betonwiderständen und den Werten der Überdeckung, kann die galvanische Korrosionsaktivität der eingebetteten Bewehrung kartographiert und visualisiert werden. Zusätzlich zu der ausgezeichneten Visualisierung von lokaler Korrosion kann die generelle Schwere der Korrosion – ausgedrückt durch die Bildung von Histogrammen über die Einzelbestimmungen der galvanischen Aktivitäten dargestellt werden.

Die Arbeit erschien in Englischer Sprache 2002 im ACI Materials Journal [1]

### 1. Einleitung

In den vergangenen Jahren hat eine allzu kurze Lebensdauer von vielen Stahlbetonbauten in vielen Ländern schwerwiegende Probleme verursacht. Diese Probleme sind hauptsächlich auf die Korrosion der Bewehrung zurückzuführen, speziell dort, wo die Chloridfront oder die Karbonatisierungsfront rasch in Tiefen der Bewehrung vordrang. [2-4]. Sobald Korrosion eingesetzt hat, ist es oft sowohl schwierig, als auch kostenintensiv die voranschreitende Korrosion wieder unter Kontrolle zu bekommen. Eine Instandsetzung muß nicht notwendigerweise den Korrosionsvorgang beenden, sie kann ein galvanisches Element verursachen durch welche die Korrosion lokal beschleunigt wird [5]. Das war oft der Fall, wenn lokale Ausbesserungen an unter chloridinduzierter Korrosion leidenden Bauwerken durchgeführt wurden.

Damit die lokale Ausbesserung von Erfolg gekrönt ist, sind eine Reihe von Dingen zu berücksichtigen: Wenn die lokale Ausbesserung nur die Entfernung der ursprünglich anodischen und abgeplatzten Bereiche umfaßt, jedoch die angrenzenden immer noch chloridkontaminierten Bereiche nicht hinreichend entfernt werden, so wird die Korrosion fortschreiten. Nach der Reprofilierung ist nämlich der galvanische kathodische Schutz der korrodierenden Stelle benachbarten

Bereiche entfernt, sodaß hier bei Überschreitung des kritischen Chloridgehaltes die Korrosion einsetzt. Die Korrosionsraten können in diesen Grenzbereichen beträchtlich werden, da sich zwischen der Ausbesserungsstelle und den angrenzenden Bereichen hohe Potentialunterschiede ausbilden können welche in einer hohen treibenden Kraft für galvanische Korrosion resultiert [6].

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Kombination von Potentialfeldmessung und Kartographierung des Betonwiderstandes zu visualisieren, und damit den Effekt der lokalen Ausbesserung an der Makrogalvanischen Aktivität der Bewehrung in Beton darzustellen.

### 2. Wissenschaftliche Bedeutung

Da das gemessene elektrochemische Potentialmessung der Stahlbewehrung von vielerlei Faktoren beeinflusst wird, erfordert die korrekte Interpretation eines Potentialkonturdiagrammes ausreichende Erfahrung. In dieser Arbeit wird gezeigt, wie die Kombination der Potentialfeldmessung mit der Kartographie des Betonwiderstandes sowohl die Schwierigkeiten als auch Unsicherheiten der Interpretation verringern kann. Durch die Generierung von Korrosionsaktivitätsdiagrammen aus den Potentialdifferenzen gewichtet mit dem Betonwiderstand wird ein anschauliches Bild

der galvanischen Aktivität bei lokaler Korrosion erhalten. Diese Arbeit zeigt, wie Kartographien von Korrosionsaktivitäten in der Zustandserfassung eingesetzt werden können.

**2. Theoretische Grundlage**

Die lokalen chemischen Unterschiede des Ausbesserungsmörtels und des benachbarten Altbetons schaffen an der Bewehrung zwischen benachbarten Stellen Potentialunterschiede. Solche Unterschiede schaffen galvanische Makrozellen, basierend auf benachbarte korrodierende und passive Bereiche. Die Zellspannung eines solchen Makroelementes kann bis zu 500 mV betragen. Der zwischen anodischen (korrodierenden) und kathodischen (passiven) Bereichen resultierende (elektrolytische) Stromfluß ist durch diesen Potentialunterschied, sowie durch den Betonwiderstand als auch dem anodischen und kathodischen Reaktionswiderstand nach der allgemeinen Gleichung Gl. 1 bestimmt:

$$I = \frac{\Delta U}{R_E + R_A + R_C} \quad \text{Gl. 1}$$

wobei:

- I .....Zellstrom [ $\mu\text{A}$ ]
- $\Delta U$  .....Zellspannung [mV]
- $R_E$  .....Betonwiderstand [ $\text{k}\Omega$ ]
- $R_A$  .....anodischer Reaktionswiderstand [ $\text{k}\Omega$ ]
- $R_C$  .....kathodischer Reaktionswiderstand [ $\text{k}\Omega$ ]

Dieser Strom ist das Ergebnis des elektrischen Feldes, welches an der Betonoberfläche bestimmt werden kann. Aus der Verteilung des elektrischen Feldes können Iso-Potentiallinien gezogen werden, welche an den negativsten Stellen Korrosion anzeigen. Die Potentialfeldmessung ist die allgemein anerkannte elektrochemische Routine-Inspektion von Stahlbetonbauten. Seine Anwendung und Interpretation ist in Richtlinien beschrieben [7] (Tabelle 1).

E gegen Cu/CuSO4	Korrosionswahrscheinlichkeit
> -200	5 %
-200 bis -350	unsicher
< -350	95 %

Tabelle 1: Interpretation von Bewehrungspotentialen nach [7]

Wenn nun so Korrosionspotentialwerte in regulären lateralen Abständen aufgezeichnet werden kann das visualisierte Meßergebnis einer spätere Instandsetzung zugrundegelegt werden. Eine Reihe von Parametern beeinflussen jedoch die Potentialmessungen: Die Feuchtigkeit und die ionische Konzentration sind in aller regel inhomogen im Beton verteilt. Potentialunterschiede, verursacht durch Konzentrationsunterschiede und dadurch wandernde Ionen können sich Potenti-

alunterschieden der Bewehrung überlagern und dadurch den Meßwert verfälschen. Dieses Problem ist bei hohen Betonwiderständen stärker ausgeprägt.

Eine karbonatisierte äußere Schicht des Betons kann die Meßwerte um bis zu 200 mV verfälschen, ebenso der geringe Sauerstoffgehalt von wassergesättigten Beton. Eine einwandfreie Interpretation von Potentialfeldmessungen erfordert daher einige Erfahrung [8]. Eine Kombination der Potentialfeldmessung und der Kartographie des Betonwiderstandes kann nun die Schwierigkeiten und Unsicherheiten in der Interpretation verringern. An Stelle von Potentialwerten mögen Netto Potential Differenzen (NPD-Werte) eingesetzt werden.

Basierend auf den NPD-Werten, dem spezifischen Betonwiderstand und der Überdeckung ist es möglich die galvanische Korrosionsrate in der Form von z.B. Gewichtsverlust abzuschätzen.

Die Bestimmung der galvanischen Korrosionsrate erfordert, daß der ionische Stromfluß im Beton zwischen benachbarten nicht-korrodierenden und korrodierenden Bereichen berechnet werden kann. Jedoch erfordert diese Berechnung die Kenntnis des spezifischen Betonwiderstandes und der Überdeckung.

Naish, Harker und Carney [9] haben bereits aufgezeigt, wie Korrosionsaktivitätskartographierung aus Potentialgradienten und Betonwiderstandswerten mit Hilfe der Methode der finiten Elemente modelliert werden kann. Ein Beispiel dieser Kartographierung ist in Abbildung 1 gezeigt.

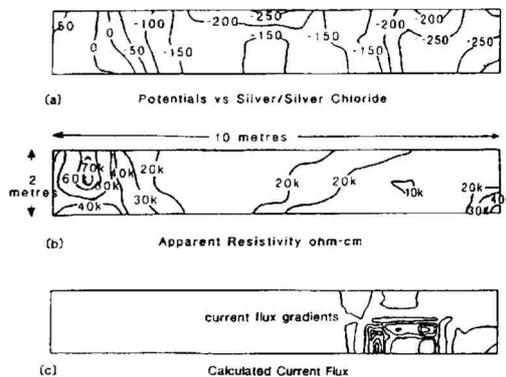


Abbildung 1: Ableitung des galvanischen Stromflusses aus Potential- und Widerstandskonturdiagrammen [9].

Das elektrische Feld  $\phi(x,y)$  über eine einzelne aktiv/passive Makrozelle kann durch die Geometrie des Systems, dem elektrolytischen Widerstand  $\rho$  und durch die Zellspannung  $\Delta U$  bestimmt werden.

Für eine kleine Korrosionszelle, welche für chloridinduzierte Korrosion typisch ist, kann die Potentialverteilung an der Betonoberfläche folgendermaßen beschrieben werden [10,11]:

$$\phi(x, y = d) = \frac{I \cdot \rho}{2\pi \cdot \sqrt{x^2 + d^2}} \text{ [mV]} \quad \text{Gl. 2}$$

wobei:

- I .....Zellstrom [ $\mu\text{A}$ ]
- $\rho$ .....spezifischer Betonwiderstand [ $\text{k}\Omega\text{cm}$ ]
- d.....Betonüberdeckung [cm]
- x.....Abstand von der Korrosionsstelle [cm]

Der Potentialunterschied zwischen zwei Punkten  $x = 0$  und  $x$  an der Betonoberfläche kann nun berechnet werden:

$$\Delta\varphi_x = \varphi(x,d) - \varphi(0,d) = \frac{I \cdot \rho}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{d^2 + x^2} - d}{d \cdot \sqrt{d^2 + x^2}} \quad \text{Gl. 3}$$

wobei der Zellstrom abgeleitet werden kann:

$$I = \frac{2\pi \cdot \Delta\varphi_x}{\rho} \cdot \frac{d \cdot \sqrt{d^2 + x^2}}{\sqrt{d^2 + x^2} - d} \quad \text{Gl. 4}$$

In der vorliegenden Arbeit wurde Gl. 2 zur Beschreibung des elektrischen Feldes über einer lokal korrodierenden Bewehrung benutzt, wobei  $x$  den lateralen Abstand von der korrodierenden Stelle beschreibt. Diese Gleichung wurde nun weiter an allen Stellen der Betonoberfläche angewandt, wobei jede Meßstelle relativ zu den benachbarten Meßstellen ausgewertet wurde. Bei Kenntnis des spezifischen Betonwiderstandes an der Meßstelle und der Überdeckung kann nun die galvanische Aktivität und somit ein Konturdiagramm für die Korrosionsaktivität generiert werden.

Um Information über das elektrische Feld in einem Elektrolyten zu erhalten, müßte man die Potentialdifferenzen zwischen zwei eng benachbarten Referenzelektroden in einem regulären Netzwerk erfassen. Aber wegen der geringen ionischen Ströme in Beton und wegen des oftmals vorhandenen Rauschens sind aber solche Messungen in der Praxis im Rahmen einer Zustandserfassung ungeeignet. Als Alternative kann man nun die Differenzen der elektrochemischen Potentiale zwischen den jeweiligen Meßpunkten und deren benachbarten Punkten (NPD) anstelle des elektrischen Feldes heranziehen. Es wird angenommen, daß die NPD (gewichtet mit dem Betonwiderstand) den galvanischen Stromfluß am Meßpunkt repräsentieren.

Einen Ein-dimensionalen Fall einer galvanischen Kopplung stellt Stahlmakroelement, bestehend aus rostfreiem Stahl und Baustahl in 0.5 M Schwefelsäure dar (Abbildung 2). Die laterale Potentialverteilung ist in Abbildung 3 gezeigt. Für die Werte von equidistanten Meßpunkten kann man die NPD für jeden einzelnen Meßpunkt folgendermaßen erhalten:

$$\text{NPD} = \frac{E_1 + E_2}{2} - E_M \quad \text{Gl. 5}$$

wobei:

- $E_M$ .....Potential am Meßpunkt M
- $E_1, E_2$ .....Potentiale an benachbarten Meßpunkten

Für den vorliegenden Fall kann man annehmen, daß der elektrolytische Widerstand lateral nicht variiert, daher sollten die NPD alleine, ohne Gewichtung mit dem Widerstand die galvanische Aktivität entlang des Stahlmakroelementes reflektieren.

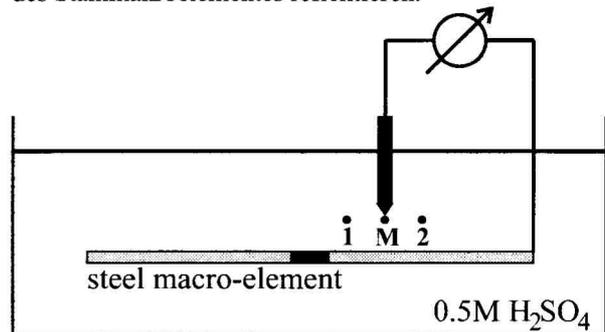


Abbildung 2: Experimenteller Aufbau für die Messung der Potentialverteilung an einem Stahlmakroelement in 0.5 M Schwefelsäure

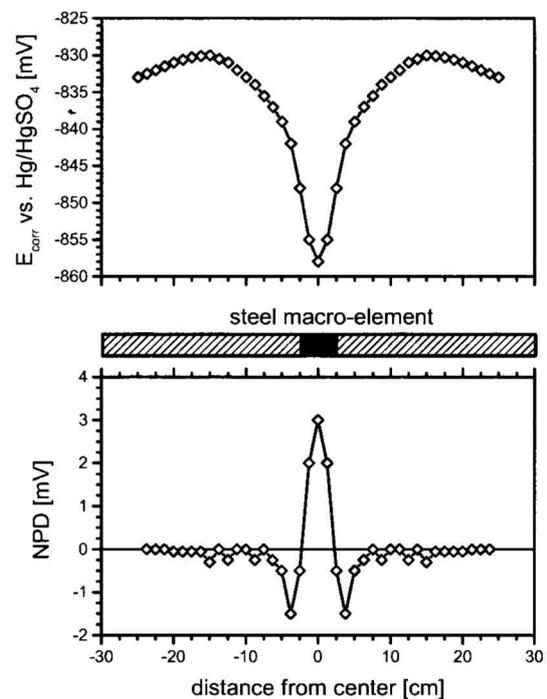


Abbildung 3: Laterale Potentialverteilung (oben) und NPD am Stahlmakroelement (unten) in 0.5 M Schwefelsäure

Für das System Stahl in Beton variiert jedoch der elektrolytische Widerstand lateral. Daher sind auch die NPD mit dem Betonwiderstand zu gewichten.

Den spezifischen Widerstand kann man aus der Messung an einem Prisma mit der Grundfläche  $A$  und der Länge  $x$  nach folgender Gleichung ermitteln:

$$\rho = R \frac{A}{x} \quad \text{Gl. 6}$$

mit R, dem Widerstand zwischen den gegenüberliegenden Flächen des Prismas.

Um Polarisierungseffekte zu vermeiden sollten Messungen mit Wechselstrom im Frequenzbereich von ca. 50 Hz bis 1 kHz durchgeführt werden. Jedoch ist das entnehmen von Betonzylindern aus dem Bauwerk weder kostengünstig noch praktisch.

Die Oberflächenmethode zur Bestimmung des spezifischen elektrolytischen Widerstandes wurde zuerst von Geologen an der Erdoberfläche, an Beton erstmals von Gewertz 1958 angewandt [12]. Diese Technik besteht im Anlegen eines elektrischen Wechselstromes an zwei die Betonoberfläche berührenden Elektroden. In einem semi-infiniten homogenen Material entsteht durch den Stromfluß ein Feld. Durch Messung der Potentialdifferenz zweier weiteren Elektroden platziert zwischen den stromführenden Elektroden kann in weiterer Folge der spezifische Widerstand dieses Materials nach Gl. 7 bestimmt werden.

$$\rho = \pi \cdot \frac{U}{I} \cdot \frac{b(b+a)}{a} \quad \text{Gl. 7}$$

wobei:

- ρ.....spezifischer Widerstand [kΩcm]
- U/I .....Widerstand [kΩ]
- a.....innerer Elektrodenabstand [cm]
- b.....äußerer Elektrodenabstand [cm]

(Für equidistanten Elektrodenabstand in der Wenner-Anordnung ist a = b)

Für eine gegebene Betonqualität ist der Betonwiderstand hauptsächlich vom Feuchtegehalt und vom Chloridgehalt abhängig [13]. Bereits 1958 wurde von Gewertz et al. beobachtet, daß die Korrosionsrate bei chloridinduzierter Korrosion ab einem spezifischen Betonwiderstand von 50 – 70 kΩcm vernachlässigbar wird [12]. In Tabelle 2 ist die Wahrscheinlichkeit für Bewehrungskorrosion in Abhängigkeit vom Betonwiderstand gegeben.

ρ [kΩcm]	Korrosionsrate
<5	sehr hoch
5 bis 10	hoch
10 bis 20	moderat
>20	vernachlässigbar

Tabelle 2: Korrosionswahrscheinlichkeit als Funktion des spezifischen Betonwiderstandes [14]

Für die kombinierte Messung des Betonwiderstandes und des Bewehrungspotentials wurde von Wilkins die Verwendung von Referenzelektroden zur Messung der AC-Potentialdifferenzen bei der Widerstandsmessung nach Wenner vorgeschlagen. Die gleichen Elektroden werden zur Bestimmung des Bewehrungspotentials angewandt [15]. In vorliegender Arbeit wurde der Einfachheit halber ein kommerziell erhältliches Meßinstrument eingesetzt, wobei gleichzeitig das Bewehrungspotential und der AC-Widerstand zwischen dem Kopf der Meßsonde und der Bewehrung

erfaßt wird [16]. Der spezifische Betonwiderstand wurde durch Bezug des gemessenen Widerstandswertes auf die Überdeckung und die Kontaktfläche der Meßsonde abgeschätzt. Zur Berechnung des makrogalvanischen Stromflusses wurde Gl. 4 auf die Meßwerte, erhalten durch den Raster wie in Abbildung 4 dargestellt, angewandt

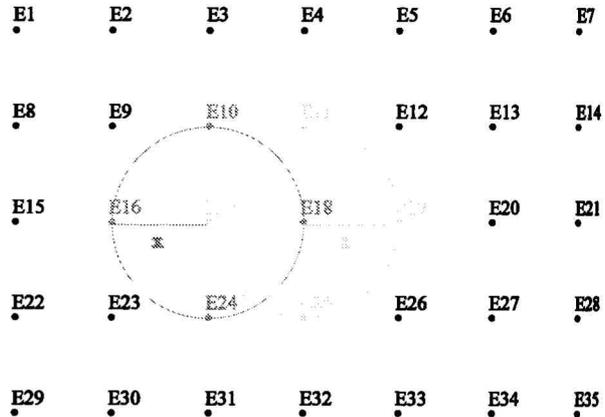


Abbildung 4: Meßraster für die Erfassung der einzelnen Potential- und Widerstandswerte.

Aus den Potentialmessungen kann nun z.B. für die Meßpunkte E17 und E18 die NPD folgendermaßen erhalten werden:

$$\Delta\varphi_{E17} = \frac{E_{E10} + E_{E16} + E_{E18} + E_{E24}}{4} - E_{E17}$$

und Gl. 8

$$\Delta\varphi_{E18} = \frac{E_{E11} + E_{E17} + E_{E19} + E_{E25}}{4} - E_{E18}$$

Den spezifische Betonwiderstand (r17 und r18) an den Meßpunkten E17 und E18 kann man abschätzen durch die Messung des Betonwiderstandes multipliziert mit der Sensorkontaktfläche A, geteilt durch die Überdeckung d (Gl. 9). Die Widerstandswerte wurden nicht mit den Werten der benachbarten Meßpunkte gemittelt, da im Falle der lokalen Korrosion die Leitfähigkeit des Mediums in direkter Nachbarschaft zur korrodierenden Stelle den Korrosionsstrom begrenzt.

$$\rho_{E17} = R_{E17} \cdot \frac{A}{d}$$

and Gl. 9

$$\rho_{E18} = R_{E18} \cdot \frac{A}{d}$$

### 3. Messungen im Feld

Die kombinierte Erfassung der Potential- und Widerstandswerte wurde an der Betondecke eines Parkhauses, welches durch chloridinduzierte Korrosion angegriffen war, durchgeführt. An diese Decks wurde im Zuge der Sanierung kathodischer Korrosionsschutz angewandt, wobei jedoch zuvor die geschädigte Betondecke durch lokale Ausbesserung instand gesetzt wurde. Nach dem lokalen Ausbessern, aber vor der Anwendung des kathodischen Schutzes wurde an drei ausgewählten Flächen Potential- und Widerstandskonturdiagramme aufgenommen. Die Flächen, samt Umfang der lokalen Ausbesserung sind in Abbildung 5 gezeigt.

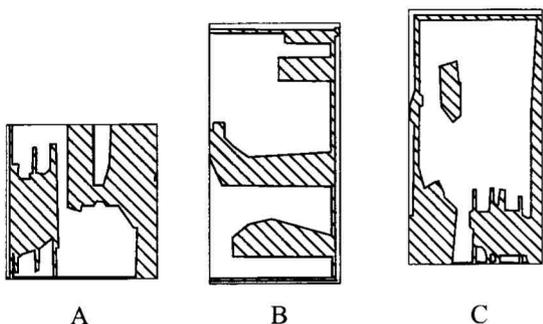


Abbildung 5: Lokale Ausbesserung in den Bereichen A (3.0 m x 3.0 m), B (2.5 m x 5.0 m) und C (2.75 m x 5.25 m)

Die potential- und Widerstandskonturdiagramme wurden mit dem kommerziellen Gerät BLOODHOUND [16] erhalten, und die Isopotentiallinien in 100 mV-Intervallen dargestellt (Abbildung 6). Wie ersichtlich wurden die negativsten Werte an den Randbereichen der lokalen Ausbesserungen erhalten, weit positivere Werte jedoch in den Ausbesserungen selber. Jedoch sind die Werte in den lokalen Ausbesserungen ebenfalls beträchtlich negativ, was unter anderem auf die Potentialverschiebung, verursacht durch den galvanischen kathodischen Schutz der Bewehrung in der Ausbesserungsstelle durch die als Opferanoden agierenden korrodierenden Bewehrungsteile zurückzuführen ist. Ohne das Ausmaß der lokalen Ausbesserungen zu kennen, ist es also auf Grund der geringen Potentialunterschiede schwierig möglich festzustellen, ob lokale Korrosion vorherrscht, oder die Korrosion eher gleichförmig abläuft.

Aus den Widerstandswerten wurde ein äußerst diffuses Bild erhalten (Abbildung 7). Es ist aus den Konturdiagrammen nicht möglich, zwischen instandgesetzten und nicht instandgesetzten Bereichen zu unterscheiden. Wahrscheinlich war die Betonfeuchte in den Ausbesserungsstellen zur Zeit der Messungen auch noch sehr hoch im Vergleich zu den benachbarten Bereichen. Die gemessenen Werte wurde gemäß Gl. 9 in Werte für spezifische Betonwiderstände umgerechnet.

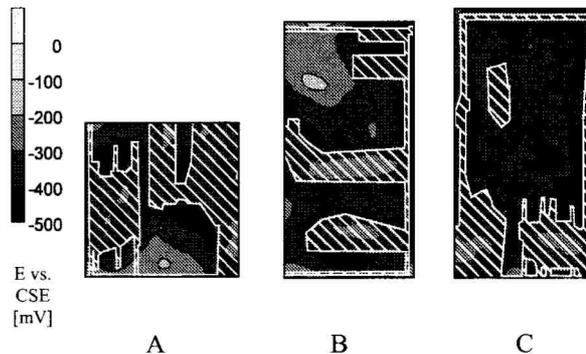


Abbildung 6: Potentialkonturdiagramme für die Meßfelder A, B und C in Intervallen von 100 mV von -500 mV bis 0 mV gegen CSE.

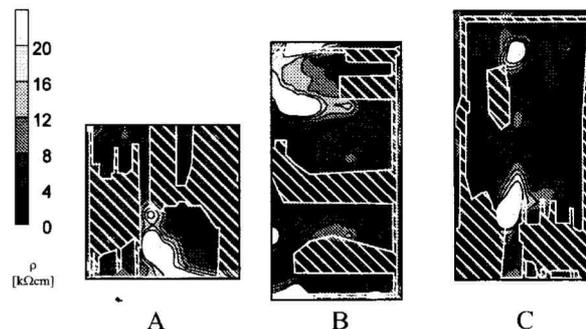


Abbildung 7: Konturdiagramme für den Betonwiderstand für die Meßfelder A, B und C in Intervallen von 4 kΩcm von 0 – 20 kΩcm.

Die eindeutigste Information über den Korrosionszustand erhält man wenn man die Werte für die makrogalvanischen Ströme wie in Abbildung 8 kartographiert. Dieses Diagramm wurde erstellt durch Bildung von galvanischen Korrosionsstromdichten aus den Netto-Potentialdifferenzen (NPD), gewichtet mit den spezifischen Betonwiderständen und der Fläche welche ein Meßpunkt abdeckt. Der Strom der Gleichung Gl. 4 wurde also mit der Fläche welche ein Meßpunkt an der Betonoberfläche abdeckt in Stromdichten umgewandelt.

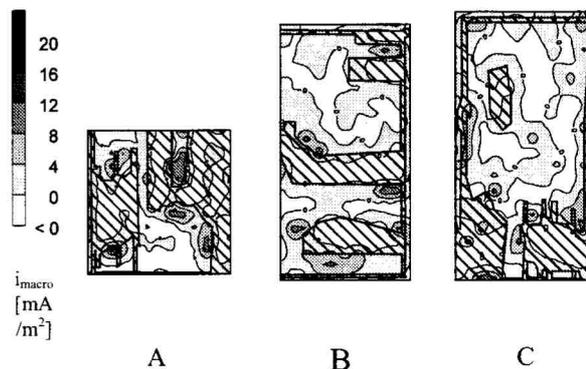


Abbildung 8: Darstellung der makrogalvanischen Aktivität in den Bereichen A, B und C. Die galvanischen Stromdichten sind auf die Betonoberfläche bezogen.

Bei Verwendung der Konturdiagramme in Abbildung 8 können nun die kathodischen und anodischen Bereiche der Bewehrung einfach unterschieden werden. Die lokalen Ausbesserungen zeigen, wie erwartet, kathodische Bereiche der Bewehrung, während im angrenzenden Altbeton die Bewehrung anodisches Verhalten aufweist. Dies ist deswegen erwartet, da ja der beton nicht flächig abgetragen wurde.

Die Konturdiagramme bekräftigen die allgemeine Erfahrung, daß ein umfassender Abtrag des chloridkontaminierten Altbetons nötig ist, um das Risiko einer Korrosion in den benachbarten Bereichen der Bewehrung zu minimieren.

Für die drei Meßfelder sind die Korrosionsaktivitäten in Form von dreidimensionalen Darstellungen in Abbildung 9 gezeigt. Lokal sind sehr hohe Korrosionsaktivitäten ersichtlich, welche üblicherweise von "flachen" kathodischen Bereichen umgeben sind.

Wäre nun die Korrosionsaktivität der Bewehrung gering und einheitlich so würde die dreidimensionale Darstellung eine flache Oberfläche zeigen. Die anodischen Stromdichten (Korrosionsstromdichten) würden wahrscheinlich wenig von Null verschieden sein.

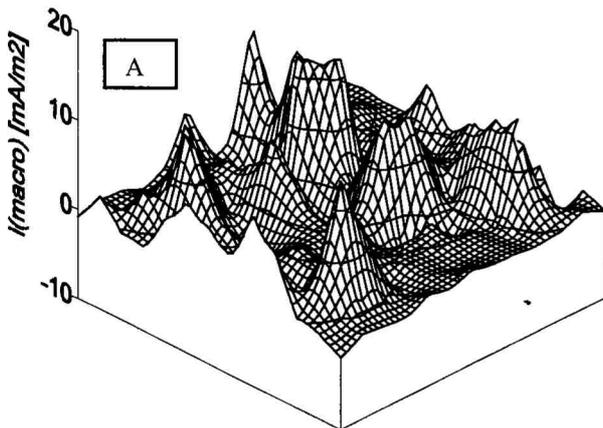


Abbildung 9a: 3-dimensionale Darstellung der Korrosionsaktivität in Meßfeld A

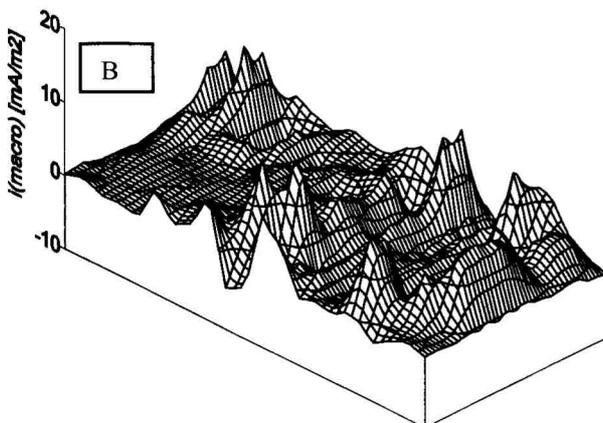


Abbildung 9b: 3-dimensionale Darstellung der Korrosionsaktivität in Meßfeld B

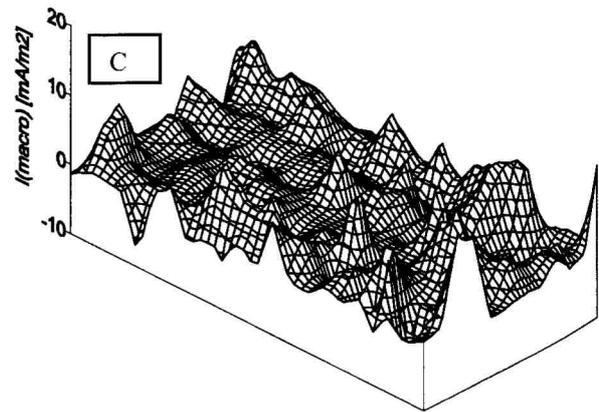


Abbildung 9c: 3-dimensionale Darstellung der Korrosionsaktivität in Meßfeld C

Bei weiterer Analyse der Meßwerte in Form einer statistischen Auswertung zeigt sich, daß die Histogramme (Häufigkeitsverteilung) über die Einzelmessungen bei Korrosion ein charakteristisches Bild zeigen (Abbildung 10). Eine beträchtliche Anzahl der Meßwerte liegt bei stark positiven Werten, die Verteilungskurve ist nicht symmetrisch um den Nullpunkt, sondern gegen positiven Werten abgeflacht. Bei einer einheitlichen Korrosion wäre eine enge symmetrische Verteilungskurve mit hoher Amplitude rund um den Nullpunkt zu erwarten. Der Abgeflachte Teil im positiven Bereich der Verteilungskurve repräsentiert also den Anteil der lokalen Korrosion in den Meßfeldern.

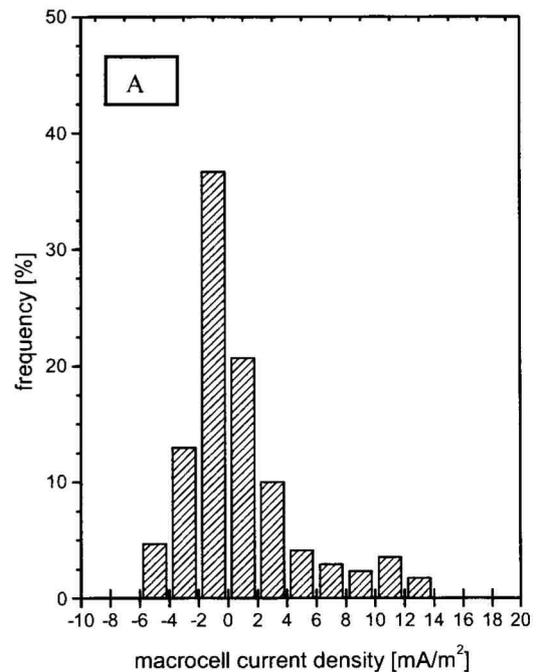


Abbildung 10a: Häufigkeitsverteilung der Makrostromdichten in Meßfeld A

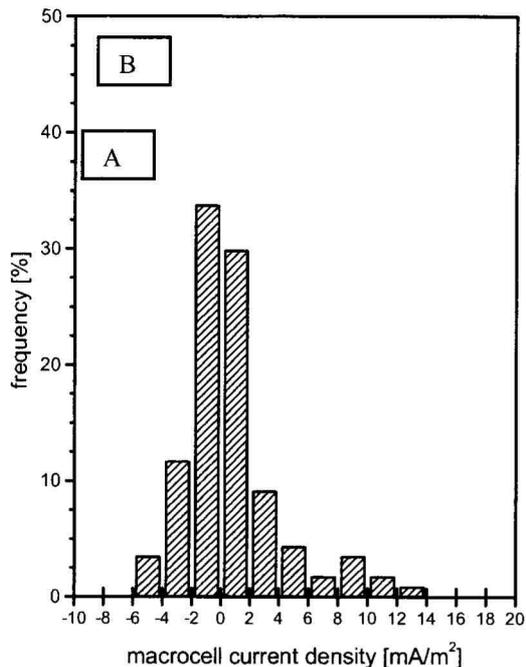


Abbildung 10b Häufigkeitsverteilung der Makrostromdichten in Meßfeld B

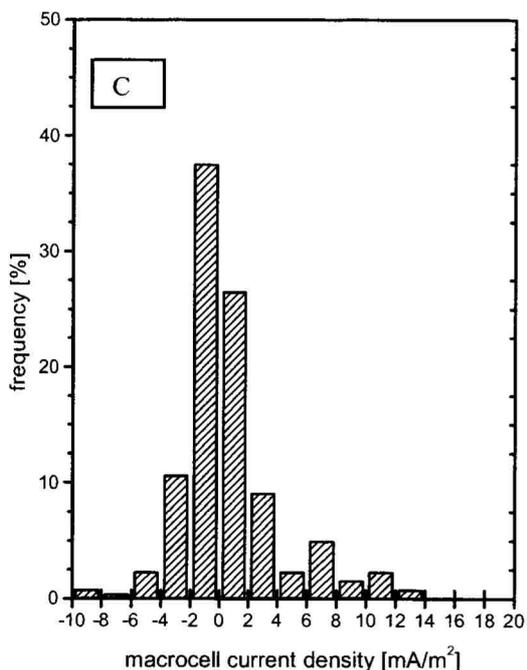


Abbildung 10c Häufigkeitsverteilung der Makrostromdichten in Meßfeld C

Die im Absolutwert viel niedrigeren kathodischen Stromdichten deuten eine einheitliche kathodische Reaktion in den passiven Bereichen an. Die kathodi-

sche Sauerstoffreaktion tritt nicht mit großen lokalen Unterschieden auf.

#### 4. Zusammenfassung

Auf Basis der Untersuchungen, deren Resultate in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, können folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Konturdiagramme für Korrosionsaktivitäten basierend auf Nettopotentialunterschieden, gewichtet mit dem Betonwiderstand scheinen ein gutes Bild der Makrogalvanischen Aktivität der lokalisierten Korrosion von Stahl in Beton zu geben.
2. Bei Messen der Korrosionsaktivität wie aufgezeigt kann sowohl eine umfangreichere als auch genauere Information über den Korrosionszustand der Bewehrung erhalten werden, verglichen mit konventioneller Potentialfeldmessung.
3. Das generelle Ausmaß des Korrosionsproblems wird durch die Verteilung (Histogramme) der Einzelwerte ersichtlich.
4. Die Erfassung und Auswertung der Meßwerte kann sicherlich einfach in Ein Softwarepaket für Kartographiegeräte implementiert werden.
5. In weiterführenden Arbeiten könnte die Ergebnisse dieser Art der Korrosionserfassung mit destruktiven Methoden verglichen werden, um diese zerstörungsfreie Korrosionsmessung zu eichen.

#### 1. Literaturangaben

- 1 F. Pruckner, O.E. Gjörv  
*Patch Repair and Macrocell Activity in Concrete Structures*  
ACI Materials Journal, **99**, 143-148 (2002)
- 2 Comptroller General of the United States  
*Solving Corrosion Problems of Bridge Surfaces Could Save Billions*  
United States General Accounting Office  
PSAD-79-10, 1979.
- 3 American Association of State Highway and Transportation Officials  
*Strategic Highway Research Program – Research Plans*  
Transportation Research Board, 1986.
- 4 O.E. Gjörv,  
*Steel Corrosion in Concrete Structures Exposed to Norwegian Marine Environment*  
Concrete International, **16**, 35-39 (1994)
- 5 H.G. Wheat, K.S. Harding  
*Galvanic Corrosion in Repaired Reinforced Concrete Slabs - An Update*  
Materials Performance, **32/5** 58-62 (1993)

- 6 M. Raupach  
*Chloride-Induced Macrocell Corrosion of Steel in Concrete – Theoretical Background and Practical Consequences*  
Construction and Building Materials, **10** 329-338 (1996)
- 7 ASTM C876-87  
*Half-Cell Potentials of Uncoated Steel in Concrete*
- 8 R. Francois, G. Arliguie, D. Bardie  
*Electrode Potential Measurements of Concrete Reinforcement for Corrosion Evaluation*  
Cement and Concrete Research, **24**, 401-412 (1994)
- 9 C.C. Naish, A. Harker., R.F.A. Carney  
*Concrete Inspection: Interpretation of Potential and Resistivity Measurements*  
in: "Corrosion of Reinforcement in Concrete",  
Herausgeber: C.L. Page, K.W.J. Treadaway und P.B. Bamforth, Elsevier 1990, Seiten 314-332.
- 10 B. Elsener, H. Böhni,  
*Potential Mapping and Corrosion of Steel in Concrete*  
in: " Corrosion Rates of Steel in Concrete",  
Herausgeber: N.S. Berke, V. Chaker und D. Whiting, ASTM, 1990, Seiten 143-156.
- 11 W. Baeckmann, W. Schwenk, W. Prinz  
*Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes*  
Verlag Chemie, Weinheim, 1989, Seite 120.
- 12 M.W. Gewertz, B. Tremper, J.L. Beaton, R.F. Stratfull  
*Causes and Repair of Deterioration to a Californian Bridge due to Corrosion of Reinforcing Steel in a Marine Environment*  
Highway Research Board Bulletin, 182, 1958
- 13 O.E. Gjörv, Ø. Vennesland, A.H.S El-Bussaidy  
*Electrical Resistivity of Concrete in the Oceans*  
Paper OTC 2803, Offshore Technology Conference, 1977, May 1977, Houston, Texas, Seiten 581-588.
- 14 R.R. Brown, D.C. Rockock  
*Assessment in Practice*  
Comett Course Aachen, 1992.
- 15 N.J.M. Wilkins  
*Resistivity of Concrete*  
AERE-M 3232, 1982
- 16 BLOODHOUND  
Potential- und Widerstandskartographiergerät  
Cyberdan A/S, Dänemark