

Weitere Sensoren für die Überwachung des KKS

Franz Pruckner

Korupp GmbH, Twist

Einleitung

Die automatisierte Überwachung der Korrosion und des Korrosionsschutzes von Bewehrungsstahl hat sich seit seiner ersten Anwendung Mitte der 1980-er Jahre zu einem Standardverfahren entwickelt. Die Gründe dafür sind:

- Kostengünstige elektronische Bauteile
- Die händische Überwachung ist zeitintensiv, erfordert gut ausgebildetes Personal, liefert nur punktuelle Meßwerte und daher im Preis/Leistungsverhältnis ungünstig.
- Bei speziellen Bauwerken (z.B. Tunnels, Brücken) können Inspektionen teure Verkehrssperren verursachen

Oben genannte Gründe waren und sind immer noch der Antriebsmotor zur Entwicklung von Sensoren und Monitoringsystemen zur automatischen Bauwerksüberwachung.

Im folgenden wird auf eine ausgewählte Sensorengruppe eingegangen, welche speziell im Zusammenhang mit KKS-B (kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton) zur Anwendung kommen (können).

Sensoren gemäß des Europäischen Regelwerks

Das Europäische Regelwerk [1] nennt zur Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes folgende Sensoren:

- Bezugs- oder Referenzelektroden
- Sensoren zur Messung des Potentialabfalls ("Pseudoreferenzelektroden")
- Meßcoupons
- Makrozellenelemente

Bezugs- oder Referenzelektroden

Eine Bezugs- oder Referenzelektrode ist eine Elektrode (Halbzelle) mit einem konstanten Gleichgewichtspotential, das sich schnell und reproduzierbar einstellt. Sie wird als Bezugspunkt für die Messung von relativen Potentialen anderer Elektroden eingesetzt. Das absolute Potential einer einzelnen Elektrode ist grundsätzlich nicht experimentell bestimmbar, sondern nur die Potentialdifferenz zwischen zwei Elektroden. Bei Elektrodenpotentialen sollte deshalb immer mit angegeben werden, auf welche Referenzelektrode es bezogen ist.

Um die Potentialdifferenz zwischen einer Elektrode und der Referenzelektrode messen zu können, müssen diese über einen Ionenleiter (Elektrolyt) und über einen elektrischen Leiter mit einem geeigneten Meßgerät, beispielsweise einem hochohmigen Voltmeter verbunden werden.

Potentialmessungen sind temperaturabhängig. Der Temperaturkoeffizient ist für jeden Referenzelektrodentyp unterschiedlich und beträgt bis zu 1 mV/°C. Weiters werden die Meßergebnisse durch das sogenannte Diffusionspotential beeinflusst. Das Diffusionspotential entsteht, wenn sich die Arbeits-

elektrode (im interessierenden Fall die Bewehrung) und Referenzelektrode in unterschiedlichen Elektrolyten befinden (Bewehrung im Beton, Referenzelektrode im internen Elektrolyten der Referenzelektrode).

Der Zahlenwert des Diffusionspotentials liegt meist in der Größenordnung von 5–50 mV und wird daher oft bewußt oder unbewußt vernachlässigt.

Für die Einbettung in Beton ist eine Reihe von Referenzelektroden kommerziell erhältlich. Im wesentlichen sind es folgende Typen:

- Mangandioxidelektrode (MnO_2)
- Silberchloridelektrode ($Ag/AgCl/KCl$)
- Kupfersulfatelektrode ($Cu/CuSO_4$ ges., CSE)
- Zinksulfatelektrode ($Zn/ZnSO_4$)

Bei der Silber/Silberchloridelektrode werden unterschiedliche Elektrolytkonzentrationen (KCl) verwendet. Das Elektrodenpotential ist abhängig von der Konzentration des Elektrolyten.

Die Kenntnis der Potentiale der Referenzelektroden ist wichtig um Meßwerte auf andere Elektrodentypen umrechnen zu können.

Elektrodentyp	E gegen NHE [mV]	E gegen CSE [mV]
MnO_2	+402	+86
$Ag/AgCl/0.5M KCl$	+251	-65
$Ag/AgCl/3.5M KCl$	+205	-111
$Ag/AgCl/ges. KCl$	+199	-117
$Cu/CuSO_4, ges.$	+316	0
$Zn/ZnSO_4, ges.$	-766	-1082

Tab. 1: Potentiale der gängigsten Referenzelektroden

Einbettung von Referenzelektroden

Die im Beton eingebetteten Referenzelektroden sind in aller Regel die einzigen "Augen" mit denen der Korrosionszustand, bzw. der Schutzgrad der Bewehrung verfolgt wird. Es ist daher von absoluter Wichtigkeit, daß diese Sensoren auch die Meßgröße erfassen, welche erfaßt werden soll. Die Anforderung an den Meßpunkt ist [2]:

- Das Bewehrungspotential soll an den korrosionsgefährdeten Stellen gemessen werden.
- Durch den Einbau der Referenzelektrode soll das Bewehrungspotential nicht beeinflusst werden.

Zur optimalen Sensorplatzierung (Auffinden der "anodischen Bewehrungsbereiche) kann man sich an einer im Vorfeld eventuell bereits durchgeführten Potentialfeldmessung orientieren. Es empfiehlt sich aber die genaue Einbettungsstelle mit einer tragbaren Aufsetzelektrode trotzdem nochmals genau auszumessen.

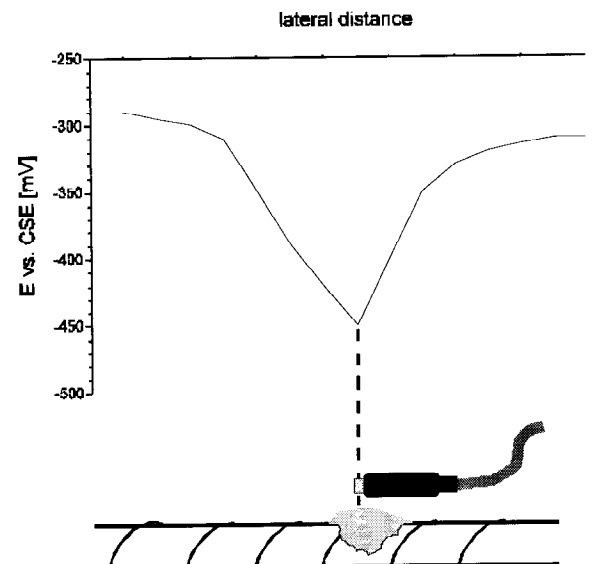


Abb. 1: Auffinden der lokal anodischsten Stelle entlang eines Bewehrungsstabs [3].



Abb. 2: Markieren der lokal anodischsten Stellen und nachfolgender Einbau der Referenzelektrode

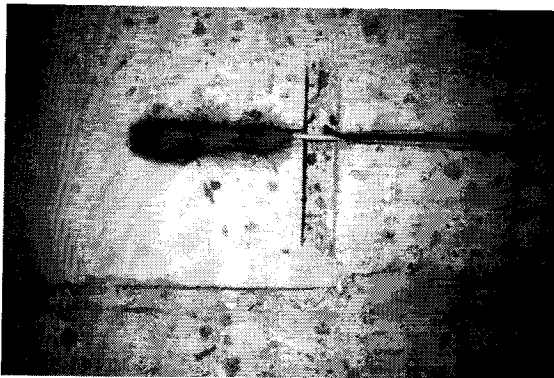


Abb. 3: Einbettung einer Referenzelektrode

Fachgerechter Referenzelektrodeneinbau ist in einer NACE-Richtlinie beschrieben [4].

Sensoren zur Messung des Potentialabfalls

Gemäß Referenz [1] versteht man hierunter Sensoren, die eine Stahl-Betonpotentialmessung ermöglichen. Sie sind jedoch nur über einen begrenzten Zeitraum potentialstabil, sodaß sie nur über den Zeitraum einer Depolarisierungsmessung (24 Stunden) eingesetzt werden dürfen.

Als Potentialabfallsensoren können nach Referenz [4] folgende "Pseudoreferenz-elektroden" verwendet werden:

- Graphit
- Ti/MMO

- Molybden/Molybdenoxid (Mo/MoO)
- Blei

Das Potential der Pseudoreferenzelektroden ist meist abhängig vom pH und dem Sauerstoffgehalt des Betonporenwassers. Weiters können sie Streuströme aufnehmen und dadurch ihr Potential verändern.

Wegen der genannten Unsicherheiten empfiehlt es sich nicht, (aus z.B. ökonomischen Überlegungen) diese Überwachungssensoren zu verwenden.

Meßcoupons

Meßcoupons sind schlecht kathodisch polarisierbare externe Meßproben, an denen das Potential unbeeinflusst vom Rest des Schutzobjekts gemessen werden kann. Hierfür wird ein der Bewehrung ähnliches Stahlstück gemeinsam mit einer Referenzelektrode in stark chloridhaltigem Mörtel abseits der Bewehrung eingebettet. Die Meßprobe ist über ein Kabel mit der Bewehrung verbunden.

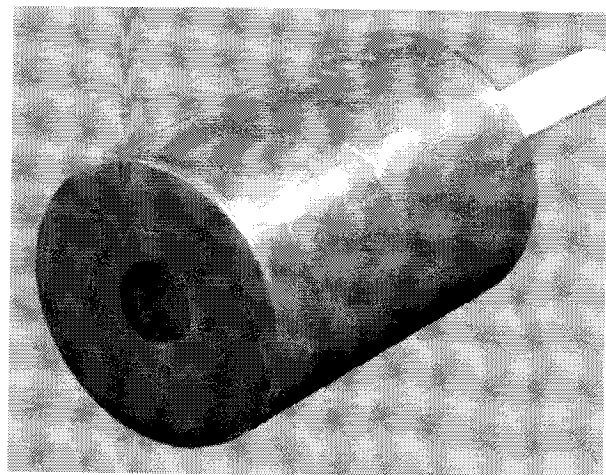


Abb. 4: Meßcoupon

Meßcoupons werden im KKS-B eigentlich nicht eingesetzt. Sie sind vor allem im Rohrleitungsschutz in Verwendung.

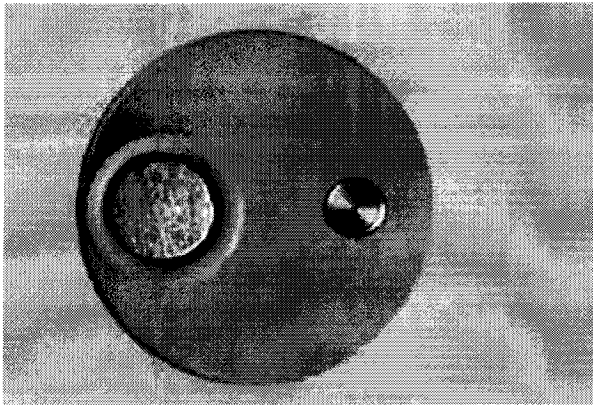


Abb. 5: Meßcoupon mit integrierter Referenzelektrode

Makrozellenelemente

Mit Makrozellenelemente können folgende Parameter erfaßt werden:

- Erfassung der an der Bewehrung auftretenden Schutzstromdichte
- Überwachung ob sogenannten "Hot Spots" genügend Schutzstrom erhalten

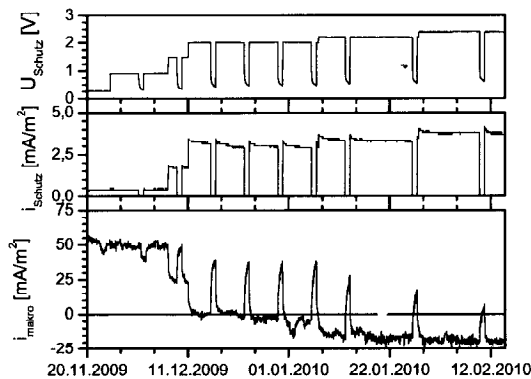


Abb. 6: Makrozellebelement. Umkehrung des Nettostroms von anodisch nach kathodisch nach Einschalten des KKS.

Bei der Überwachung von lokal aktive Korrosionsstellen (hot spots) steuert man die Korrosion dadurch indem man erfaßt, ob diese Stellen ausreichend Schutzstrom erhalten. Dies wird durch die Umkehrung des

Nettostromflusses zwischen Makrozelle und Bewehrung angezeigt, nachdem das kathodische Korrosionsschutzsystem eingeschaltet worden ist.

"Hot Spots" können entweder künstlich hergestellt werden, indem ein kurzer Bewehrungsstab (ca. 10 cm lang) in stark chloridhaltigem Mörtel eingebettet wird, oder eine durch Potentialfeldmessung aufgefundene korrodierende Stelle am Bewehrungskorb elektrisch isoliert wird (siehe z.B. [5]).

Der Nettostrom zwischen Makrozelle und dem Rest der Bewehrung wird über ein Null-Widerstandsmeßgerät (ZRA, zero resistance amperemeter) erfaßt.

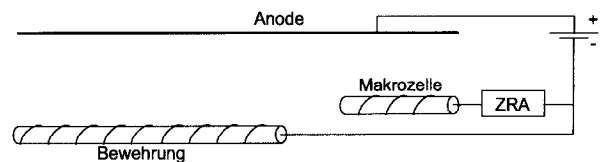


Abb. 7: Meßanordnung zur Erfassung der Stromumkehr einer Makrozelle

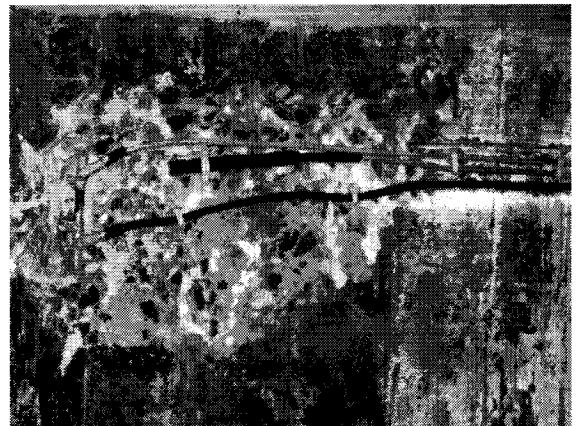


Abb. 8: Makrozellenelement mit Meßanschluß (grau). Zu sehen auch der KKS-Bewehrungsanschluß (schwarz)

Weitere Sensoren zur Überwachung des KKS

Für die Überwachung einer KKS-B Installation sind eine Reihe weiterer Sensoren hilfreich, wiewohl sie keine direkte Information über den Schutzgrad der Bewehrung liefern. Es sind dies Sensoren, die die Interpretation der Standard-Meßwerte (Spannung, Stromdichte, Potentiale) der KKS-B Installation erleichtern.

Temperatursensoren

Sämtliche elektrochemischen Parameter sind in einer Weise von der Temperatur abhängig. Das sind z.B. das Potential der Referenzelektrode und der Bewehrung, die Korrosionsrate, der Schutzstrombedarf, der Übergangswiderstand Anode/Beton und der elektrolytische Betonwiderstand.

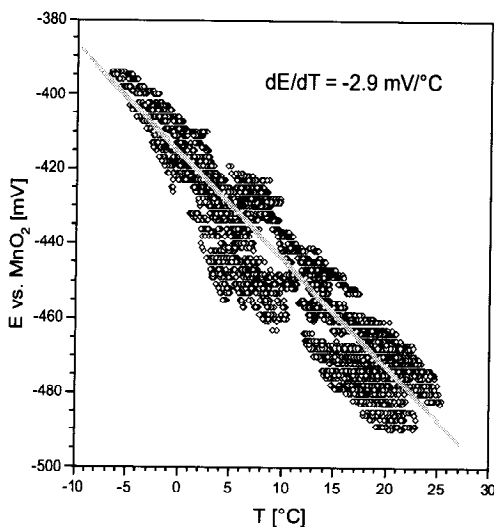


Abb. 9: Gemessenes Freies Korrosionspotential als Funktion der Umgebungstemperatur (Meßwerte über ein Jahr)

Das mit eingebauten Referenzelektroden gemessene freie Korrosionspotential ist direkt proportional der Umgebungstemperatur. Die Unterschiede in den Meßwerten können 100

mV zwischen Sommer und Winter betragen (Siehe Abb. 9).

Der Betonwiderstand, die Korrosionsrate, sowie die Schutzstromdichte bei fix eingestellter Schutzspannung sind hingegen in einer exponentiellen Beziehung (Arrheniusbeziehung) von der Temperatur abhängig. Z.B. gilt für die Korrosionsrate und für die Schutzstromdichte folgender Zusammenhang:

$$i_x = A \cdot \exp\left(-B \cdot \frac{1}{T}\right)$$

i_x beschreibt die Korrosionsrate (Korrosionsstromdichte) oder Schutzstromdichte, A und B sind Konstanten, T die absolute Temperatur. Mit einer Erhöhung der Umgebungstemperatur um ca. 20 °C geht eine Verdopplung der Korrosionsgeschwindigkeit einher. Daher ist bei höheren Temperaturen auch eine dementsprechend höhere Schutzstromdichte erforderlich.

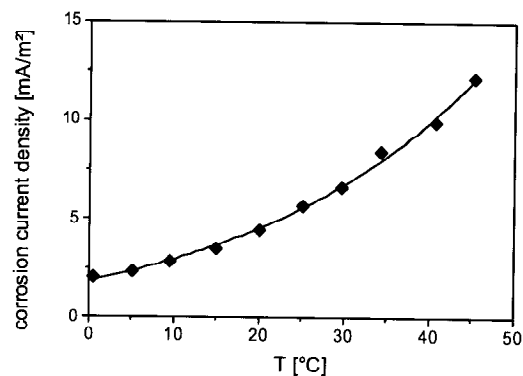


Abb. 10: Zusammenhang zwischen Temperatur und Korrosionsrate

Der Betonwiderstand, sowie die Übergangswiderstände Bewehrung/Beton und Anode/Beton folgen hingegen einem Zusammenhang:

$$R = C \cdot \exp\left(D \cdot \frac{1}{T}\right)$$

R: Widerstand, C, D: Konstanten. Glücklicherweise folgt der Betonwiderstand einer der Korrosionsrate entgegengesetzten Temperatur-Beziehung. Er nimmt mit steigender Temperatur ab. Bei einer konstant anliegenden Schutzspannung ist daher der fließende Schutzstrom bei höheren Temperaturen höher und bei niedrigen Temperaturen niedriger (Abb. 11, Abb. 12).

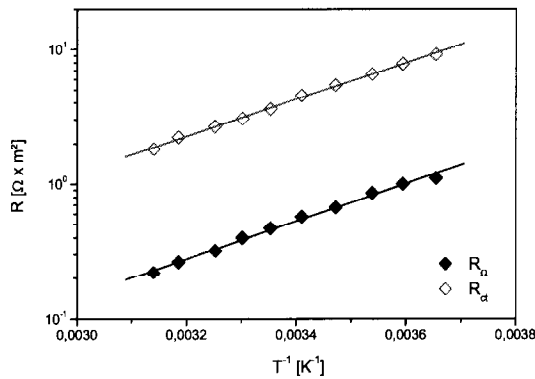


Abb. 11: Temperaturabhängigkeit von Betonwiderstand (R_n) und Übergangswiderstand Bewehrung/Beton (R_{ct})

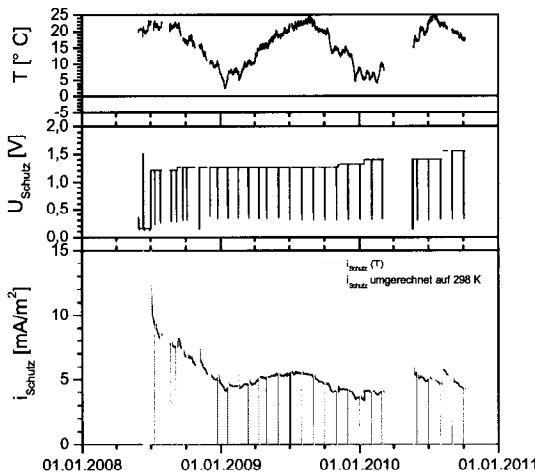


Abb. 12: Die Schutzstromdichte folgt der Temperatur bei konstanter Schutzspannung. Der Temperatureffekt läßt sich rechnerisch eliminieren.

Als Temperatursensor kann im einfachsten Fall ein Thermoelement (z.B.: Typ T, Cu-Konstantan) verwendet werden. Die gemessene Thermospannung muß noch verstärkt werden, um sie mit gängigen Datenloggern erfassen zu können.

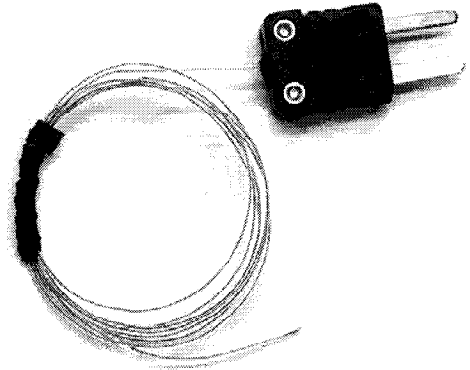


Abb. 13: Thermoelement. Das Drahtende wird in die Meßstelle eingebaut, der Stecker an das Meßgerät angeschlossen.

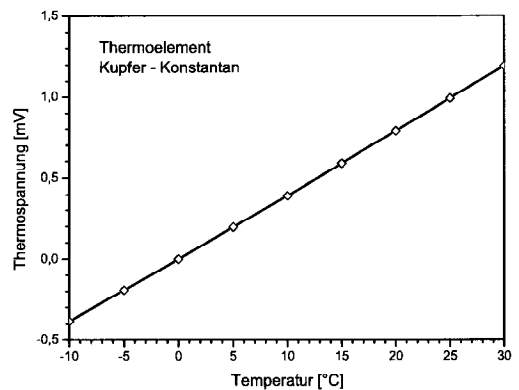


Abb. 14: T-Abhängigkeit des Cu-Konstantan Thermoelementes.

Empfindlicher und genauer, sowie schneller auf Änderungen der Umgebungstemperatur ansprechend sind Widerstandsthermometer auf Platinbasis. Dabei wird die Widerstandsänderung eines Platindrahtes oder Platinfolie als Temperatursensor ausgenutzt. Gängig sind PT100 ($R_0 = 100 \Omega$) und PT1000 ($R_0 = 1 k\Omega$).

Widerstandssensoren

Im einfachsten Fall werden als Widerstandssensor ein Paar parallel angeordneter Metallbolzen oder auch ein Paar parallel angeordneter Ti/MMO Streckmetallbänder verwendet. Die Widerstandsmessung erfolgt mit Wechselstrom bei einer Frequenz zwischen ca. 100 und 1000 Hz. Die Widerstandsmeßeinheiten werden in das KKS-Monitoringsystem eingebunden. Der Einbau soll so erfolgen, daß der gemessene Widerstand maßgebliche durch den Altbeton verursacht wird. Ein weiterer Anwendungsfall kann aber auch die Überwachung des elektrolytischen Widerstandes des Einbett-, oder Reprofilierungsmörtels sein.

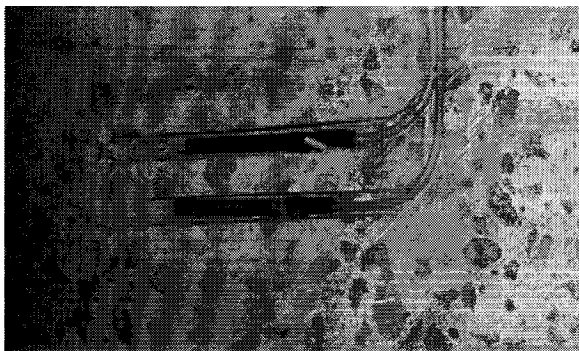


Abb. 15: Widerstandssensor bestehend aus 2 Stahlbolzen

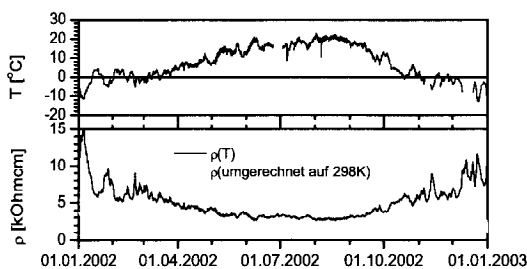


Abb. 16: Spezifischer Betonwiderstand mit einem Widerstandssensor über ein Jahr gemessen. (N.B.: Temperatureffekt!)

Der Betonwiderstand zeigt eine starke Temperaturabhängigkeit. Man kann aber, um den Temperatureinfluß rauszufiltern, auf Standardtemperatur umrechnen (Abb. 16).

Dadurch ist es möglich, andere als Temperatureffekte zu quantifizieren. Im folgenden ein Beispiel, wo an einem Objekt eine Meßstelle in der Deckenoberseite eines Parkhaus einmal im beschichteten Bereich, einmal im unbeschichteten Bereich eingebaut war. Deutlich ist die periodische sprunghafte Abnahme des elektrolytischen Betonwiderstandes durch Wasser/Matsch/Schnee erkennbar.

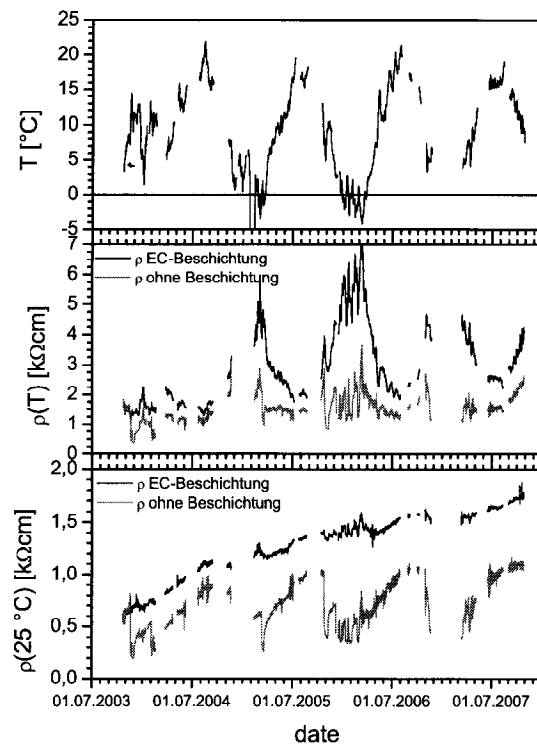


Abb. 17: Die Wasser/Schnee/Matsch-Beaufschlagung einer Parkhausdecke wird durch eine Temperaturkorrigierte Widerstandsmessung sichtbar (rote Kurve, unteres Diagramm).

Korrosionsratesensoren

Bewehrungsstahl, der über längere Zeit kathodisch geschützt wurde, ist auch bei dann abgeschaltetem kathodischen Schutz in

einem elektrochemisch stabileren Zustand. Dieser Zustand wird einerseits durch die Anreicherung an Chloridionen in der Nähe der Bewehrungsoberfläche, andererseits durch die Erzeugung von OH⁻ Ionen an der Bewehrungsoberfläche bewirkt. Die Oxidschicht wird ebenfalls weniger durchlässig ("Passivierung"). Ob sich der elektrochemische Zustand der Bewehrung geändert hat, kann durch Messen der Korrosionsrate festgestellt. Die Elektrochemie stellt für die Erfassung dieser Größe mehrere Möglichkeiten zur Verfügung (Elektrochemische Impedanzspektroskopie, Galvanostatische Pulsmessung, Lineare Polarisationswiderstandsmessung).

Das Sensorelement selbst besteht im einfachsten Fall aus einer Referenzelektrode und einer "kleinen" Gegenelektrode (z.B. Ti/MMO-Band, Länge ca. 20 cm) und der Bewehrung. Referenzelektrode und Gegenelektrode werden seitlich der zu messenden Bewehrung eingebettet.

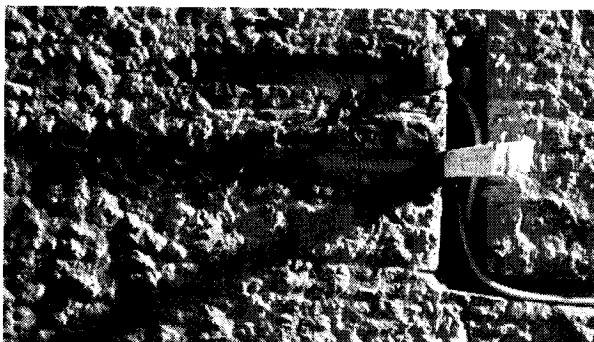
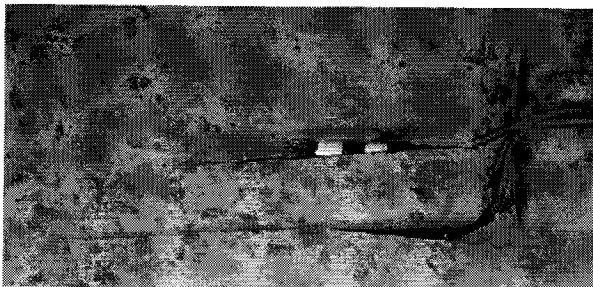


Abb. 18: Sensor zur Bestimmung der Korrosionsrate

Der Absolutwert der Korrosionsrate für Stahl in Beton ist schwierig zu bestimmen, da die "Auflösung" des Sensors zu niedrig ist. Man

erhält einen Mittelwert der Korrosionsrate über mindestens die Länge des Sensors.

Korrosionsratesensoren eignen sich jedoch wunderbar, um relative Änderungen über die Zeit festzustellen (Abb. 19).

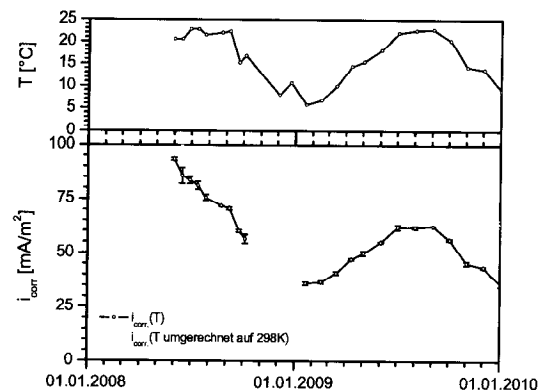


Abb. 19: Änderung der Korrosionsrate einer KKS-geschützten Bewehrung.

Wird die Korrosionsrate in einem KKS-Monitoringsystem mitüberwacht, so darf diese Messung erst bei vollständig depolarisierter Bewehrung erfolgen. Vorteilhaft ist es, für Korrosionsrate-messungen die Bewehrung ca. 1 Woche depolarisieren zu lassen (Vergleiche z.B. [6]).

Feuchtesensoren

Feuchtesensoren messen lokal den Feuchtigkeitsgehalt des Betons. Der Feuchtigkeitsgehalt ist maßgeblich für den elektrolytischen Stromfluß verantwortlich. Da jedoch der elektrolytische Stromfluß auch vom Ionengehalt des Porenwassers abhängig ist, eignen sich Widerstandssensoren besser für die elektrolytische Charakterisierung des Betons, wenn der Beton auch Chloriden enthält.

Als Feuchtesensoren werden zumeist kapazitive Sensoren verwendet (Abb. 20). Dieser Sensortyp nutzt eine hygroskopische Schicht als Dielektrikum zwischen den beiden Elektroden eines Kondensators. Durch die

Absorption von Feuchte im Dielektrikum ändern sich dessen Eigenschaften und in Folge die elektrische Kapazität des Sensors.

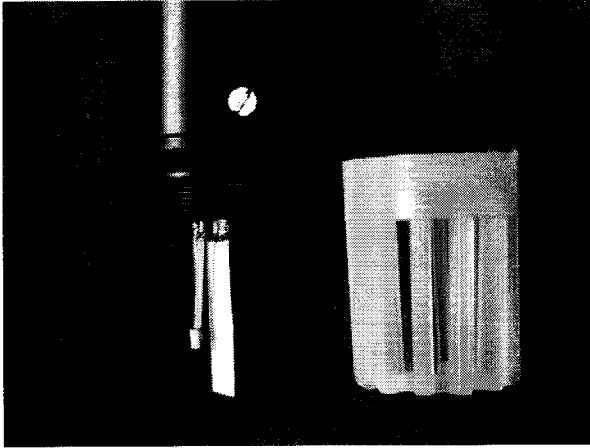


Abb. 20: Kapazitiver Feuchtesensor

Der kapazitive Feuchtesensor mißt die relative Luftfeuchtigkeit eines Hohlraums in Beton. Die relative Luftfeuchtigkeit in diesem Hohlraum steht mit dem Sättigungsgrad der Betonporen im Gleichgewicht. Der Sättigungsgrad des Betons abgeschätzt werden. Bei Kenntnis des Porenvolumens kann aus der gemessenen Luftfeuchtigkeit auf den absoluten Wassergehalt geschlossen werden. Der rechnerische Aufwand ist aber sehr hoch [7], wodurch die Praktikabilität dieser Sensoren doch in Frage zu stellen ist.

Das KKS-System selbst als Sensor (KKS-B Sensor)

Das KKS-System selbst (Anode, Bewehrung, Referenzelektroden) kann als Sensorsystem verwendet werden. Dadurch lassen sich folgende Parameter erfassen:

- Betonwiderstand zwischen Anode und Bewehrung.
- Übergangswiderstand Anode/Beton

- Übergangswiderstand Bewehrung/Beton

Betonwiderstand aus KKS-B-Sensor

Aus einer Differenzmessung des Potentialunterschiedes von Anode und Bewehrung und der zum Meßzeitpunkt fließenden Schutzstromdichte zwischen Anode und Bewehrung läßt sich der Betonwiderstand flächenbezogen für eine Schutzzone bestimmen.

$$\Delta E_{\text{Beton}} = U_{\text{ein}} - U_{\text{aus}}, \quad \rho_{\text{Beton}} = \frac{\Delta E_{\text{Beton}}}{i_{\text{Schutz}}} \quad [\Omega\text{m}^2]$$

Die Bestimmung des Betonwiderstandes kann bei jeder Ausschaltmessung (Depolarisationsmessung) durchgeführt werden. Die Entwicklung des Betonwiderstandes zwischen Anode und Bewehrung läßt sich somit zeitlich verfolgen.

Übergangswiderstand Bewehrung/Beton aus KKS-B Sensor

Der Übergangswiderstand für die Bewehrung ist der Durchtrittswiderstand oder Polarisationswiderstand der Bewehrung. Der Polarisationswiderstand ist definiert als der Bruch der Polarisierung/Depolarisierung der Bewehrung über die Schutzstromdichte:

$$R_{p,\text{Bewehrung}} = \frac{\Delta E_{\text{Bewehrung}}}{i_{\text{Schutz}}} \quad [\Omega\text{m}^2]$$

Dabei wird als $\Delta E_{\text{Bewehrung}}$ der Durchschnittswert der Depolarisierung, gemessen mit sämtlichen Referenzelektroden angesetzt.

Streng genommen gilt diese Beziehung nur für kleine Depolarisationswerte ($< 20 \text{ mV}$), daher soll dieser Wert nur als Relativwert verwendet werden. Wie der Betonwiderstand läßt sich die Entwicklung des Polarisationswiderstandes der Bewehrung zeitlich verfolgen durch zeitlich aufeinanderfolgende Depolarisationsmessungen.

Übergangswiderstand Anode/Beton aus KKS-B Sensor

Der Übergangswiderstand für die Anode ist der Durchtrittswiderstand oder Polarisationswiderstand der Anode. Der Polarisationswiderstand ist definiert als der Bruch der Polarisierung/Depolarisierung der Anode über die Schutzstromdichte. Die Depolarisierung der Anode ΔE_{Anode} erhält man aus der anliegenden Spannung U_{Schutz} dem Spannungsabfall über den Betonwiderstand ΔE_{Beton} der durchschnittlichen Polarisierung der Bewehrung $\Delta E_{\text{Bewehrung}}$ und dem Potentialunterschied zwischen Anode und Bewehrung im depolarisierten Zustand $E_{\text{Anode-Bewehrung}}$:

$$\Delta E_{\text{Anode}} = U_{\text{Schutz}} - \Delta E_{\text{Beton}} - \Delta E_{\text{Bewehrung}} - E_{\text{Anode-Bewehrung}}$$

$$R_{P,\text{Anode}} = \frac{\Delta E_{\text{Anode}}}{i_{\text{Schutz}}} [\Omega\text{m}^2]$$

Auch dieser Zusammenhang strenggenommen nur für kleine Depolarisierungswerte gilt.

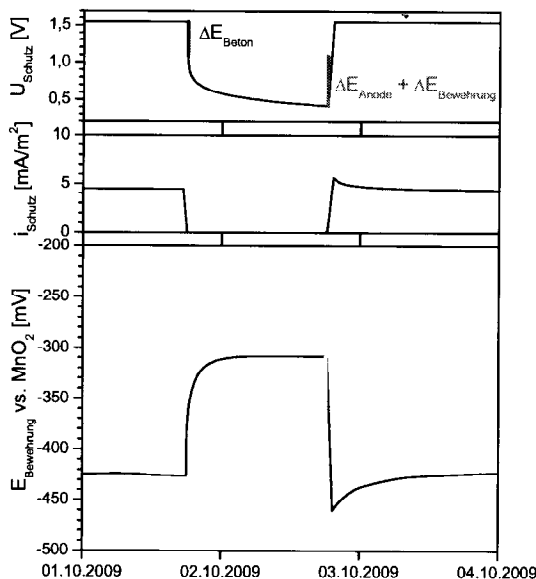


Abb. 21: Spannungsabfälle über die einzelnen Widerstände

Der Sinn der Erfassung dieser drei Widerstandswerte mit dem hier so bezeichneten "KKS-B Sensor" liegt darin, daß

- die relative Änderung des Korrosionszustandes der Bewehrung (Repassivierung) als Folge des KKS-B zeitlich verfolgt werden kann. Der Übergangswiderstand nimmt zu.
- die relative Änderung des Betonwiderstandes über die Dauer des KKS-B (Austrocknung, Ionenabreicherung,) erfaßt werden kann.
- die Langzeitstabilität der Anode am Schutzobjekt prognostiziert werden kann. Eine Erhöhung des Übergangswiderstandes bedeutet, daß die Anode weniger Strom liefern kann.

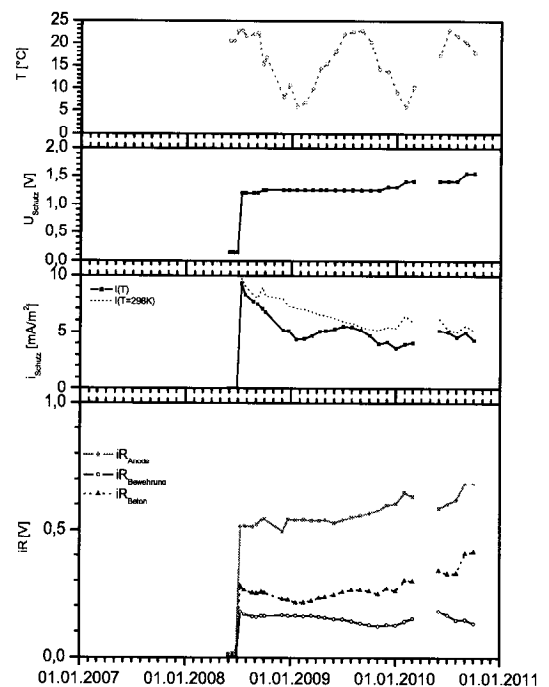


Abb. 22: ΔE_{Beton} , ΔE_{Anode} und $\Delta E_{\text{Bewehrung}}$ im unteren Diagramm aus Abb. 21. In den oberen Diagrammen Temperatur, Schutzspannung und Schutzstromdichte zur Zeit der Depolarisationsmessungen.

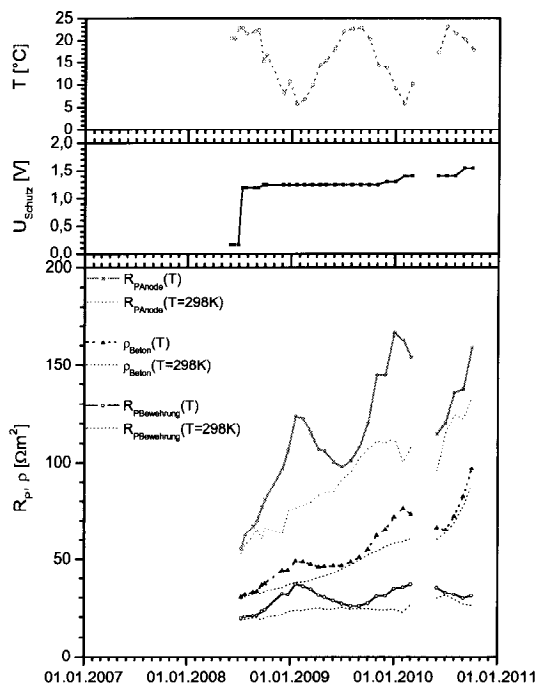


Abb. 23: Bestimmung des Betonwiderstandes und der Übergangswiderstände Anode/Beton und Bewehrung Beton, sowie Temperaturkorrektur

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Zur Dokumentation der Funktion eines KKS-B Systems eignen sich sowohl Referenzelektroden, als auch Makrozellenelemente. Die Referenzelektroden dienen im Wesentlichen der Erfassung der Polarisierung/Depolarisierung der Bewehrung. Diese Meßgröße muß einen bestimmten Wert überschreiten um ausreichenden Schutz durch KKS zu dokumentieren (100-mV Kriterium). Makrozellenelemente, hingegen verwenden die Stromumkehr als Meßparameter zur Charakterisierung des Schutzes der Bewehrung.

Temperatur-, Widerstands- und Feuchtesensoren dokumentieren keinen durch den kathodischen Korrosionsschutz hervorgerufenen Effekt. Sie sind jedoch als unterstützende Sensoren für die Interpretation der elektrochemischen Meßgrößen den Korrosionszustand betreffend hilfreich. Der in der Regel starke Temperatureffekt läßt sich rechnerisch eliminieren, sodaß andere Umwelteinflüsse oder Einflüsse aus der Änderung der Schutzparameter deutlich sichtbar werden.

Die Änderung der Korrosionsrate der Bewehrung gibt Aufschluß über sekundäre Schutzeffekte, hervorgerufen durch KKS. Messungen der Korrosionsrate sollen aber nur an vollständig depolarisierter Bewehrung durchgeführt werden.

Die KKS-B Installation selbst kann als Sensor aufgefaßt werden. Mit diesem Sensor lassen sich für eine Schutzzone der durchschnittliche Betonwiderstand, sowie der Übergangswiderstand Bewehrung/Beton und Anode/Beton verfolgen. Aus diesen drei Widerständen kann in weiterer Folge die Lebensdauer der KKS-Installation abgeschätzt werden, oder auch die Passivierung des Bewehrungsstahls.

- 1 EN 12696
Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton
Europäisches Komitee für Normung, EU, Brüssel 2000
- 2 NACE Standard SP0290-2007
Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures
NACE International, Houston, TX, 2007

- 3 Franz Pruckner
Diagnosis and protection of corroding steel in concrete
NTNU, Trondheim
Doktor ingeniøravhandling 2002:140
Department of Structural Engineering
- 4 NACE International Publication 11100
Use of Reference Electrodes for Atmospherically Exposed Reinforced Concrete Structures
NACE International, Houston, TX, 2000
- 5 J: Bennett, T. Turk
Technical Alert
Criteria for the Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Elements
SHRP-S-359, 1994
- 6 Franz Pruckner
Corrosion and Protection of Reinforcement in Concrete
Measurements and Interpretation
Dissertation, Universität Wien, 2001
- 7 F. Pruckner, O.E. GjØrv
RH measurements for assessing moisture conditions in concrete structures
Concrete under Severe Conditions –
Castro Borges et al. (eds), 2010, Taylor & Francis, London