

BAUWERKSÜBERWACHUNG

Bauwerke dezentral überwachen

Die Überwachung des Korrosionszustands bei Bauwerken aus stahlbewehrtem Beton leistet einen wesentlichen Beitrag zur Substanzerhaltung. Permanente Weiterentwicklungen erleichtern die Kontrolle.

Ein beträchtlicher Teil der Bauwerke unserer Infrastruktur hat eine große Bedeutung für das einwandfreie Funktionieren unserer Gesellschaft. Wichtige Bauten sind unser Straßennetz mit all seinen Brücken, aber auch Parkhäuser gehören dazu. Diese Bauten wurden meist mit stahlbewehrtem Beton errichtet. Die Erhaltungskosten des nationalen Straßennetzes betragen 2001 120,2 Millionen €. Davon wurden 4 Prozent (4,8 Millionen €) für Erhaltung, Überwachung und Prüfung der Brücken aufgewendet.¹

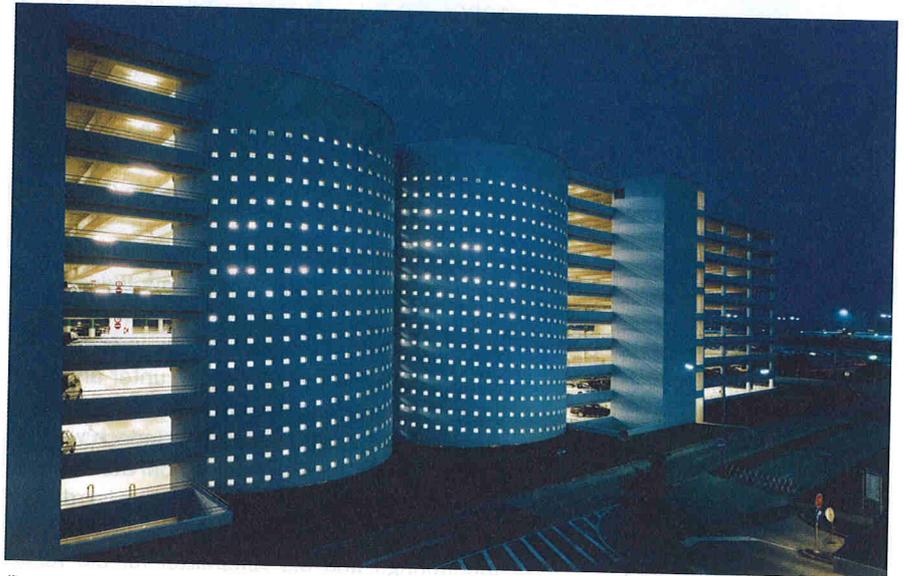
Die Substanzerhaltung wird in Zukunft immer wichtiger, da ein großer Teil der stahlbewehrten Bauten ein für die Erhaltung „kritisches Alter“ von 25–35 Jahren aufweist. Die verstärkte Nutzung und die Erfordernis einer technisch ausreichenden und kostengünstigen Nutzung erfordert einen hohen Wissensstand bezüglich Korrosion und eine ausreichende Kontrolle zur Vermeidung unerwünschter „Überraschungen“. Eine dieser Überraschungen ist in Referenz² beschrieben.

Für die permanente und automatische Überwachung von Betonbauten bedient man sich schon seit bald 20 Jahren der Technologie der Sensorik, der Datenaufzeichnung und der Datenfernübertragung. Dabei werden von einem zentralen Punkt alle Sensoren getrennt mit Signalkabeln verbunden. Das Messsignal ist ein Spannungswert in der Größenordnung von 0–5000 mV. Die Übertragung dieser Niederspannungssignale über lange Distanzen wird wegen der langen Kabelwege aufwändig und wegen der häufigeren Kontaktierung fehleranfällig. Elektrische Wechselfelder verursacht durch Starkstromleitungen können die Signalübertragung negativ beeinflussen.

Eine Vereinfachung der Überwachung von ausgedehnten Betonbauwerken stellt die dezentrale Bauwerksüberwachung dar, bei der die Messsignale digitalisiert übertragen werden. Die Funktionsweise eines derartigen Überwachungssystems sei im Folgendem exemplarisch für den kathodischen Korrosionsschutz (KKS) diskutiert.

Automatische „zentrale“ Überwachung

Das Ziel einer permanenten und automatischen Bauwerksüberwachung ist in Referenz³ dargelegt und umfasst die Erfassung von unterschiedlichen Messparametern in regelmäßigen Intervallen und die Registrierung der Änderung von relevanten Parametern (z. B. der Korrosionsgeschwindigkeit). Folgende Anforderungen müssen daher generell an ein automatisches



Überwachungssystem gestellt werden:

- Dauerhaftigkeit;
- keine häufigen Rekalibrierungen;
- Messung der Eigenschaften von Stahl und Beton und deren Änderung über die Zeit;
- Die Sensoren müssen brauchbare Information liefern;
- Die Messwerte müssen registrierbar und interpretierbar sein.

Die Überwachung des Korrosionszustandes eines Bauwerkes und des Korrosionsschutzes umfasst zum Beispiel die folgenden Messparameter:

- elektrochemisches Bewehrungspotenzial;
- angelegte Schutzspannung und Schutzstromdichte;
- Betontemperatur;
- elektrolytischer Betonwiderstand;
- Korrosionsgeschwindigkeit;
- Makrozellströme;
- Betonfeuchte.

Eine gute Übersicht über Bauwerksüberwachung unter Verwendung der verschiedensten Sensoren stellt die Dissertation von Yves Schiegg dar⁴. Resultate von Bauwerksfernüberwachung und ferngesteuerter KKS-Überwachungen sind in Referenz⁵ beschrieben.

Die Erfassung der Messparameter erfolgt je nach Sensortyp nach mehr oder weniger komplizierten Verfahren: Am einfachsten sind Bewehrungspotenzial, Schutzspannung und Schutzstromdichte mit einem Datenerfassungsgerät (Logger) zu messen. Das Erfassen der Betontemperatur, der Makrozellenströme und des Betonwiderstandes erfordert bereits eine aufwändigere Elektronik, während der Messung

Durch die digitale Übertragung von Messdaten wird die Überwachung von Betonbauwerken erleichtert.

der Korrosionsgeschwindigkeit komplizierte Algorithmen und eine komplexe Elektronik zugrunde liegen.

Ferngesteuerte Bauwerksüberwachungen bei KKS-Installationen wurden von N. D. Burke schon 1986 an Brücken des Interstate Highway 80 in New Jersey installiert⁶. In Europa sind Systeme seit Anfang der 1990er-Jahre auf dem Markt⁷. Erfolgreiche ferngesteuerte Bauwerksüberwachungssysteme wurden in Europa vor allem in Italien, der Schweiz, Großbritannien, den Niederlanden, in Skandinavien, aber auch in Österreich installiert.

Manches Mal jedoch waren Installationen von Bauwerksüberwachungen von stark reduziertem Nutzen: So wurden zum Beispiel für die Überwachung der Großen Belt Brücke in Dänemark (Ziel: 100 Jahre Lebensdauer⁸) unter anderem sage und schreibe 426 Korrosionssensoren vom Typ der Anodenleiter installiert⁹, jedoch war der Bauherr nicht mehr gewillt, noch Geld für die Fernsteuerung auszugeben. Daher ist die Installation als Instrument des Korrosionsmonitorings und als Hilfsmittel für die rechtzeitige Setzung von Aktionen (Wartung, Sanierung, Installation von KKS) nur eingeschränkt tauglich¹⁰.

Bisherige Einschränkungen

Bei sehr ausgedehnten Bauwerken wird die herkömmliche „zentrale“ automatische Bauwerksüberwachung durch die Ausdehnung des Objektes eingeschränkt, wie im Folgenden dargelegt.

Bei dieser „zentralen“ Bauwerksüberwachung werden die Signalkabel für die Sensoren einzeln zum Aufzeichnungsgerät geführt. Das Messsignal einer Referenzelektrode wird z. B. über ein zweipoliges Kabel (ein Anschluss für die Referenzelektrode, ein Anschluss für die Bewehrung herangeführt. (Oft wird für alle Referenzelek-

troden nur ein gemeinsamer Bewehrungsanschluss verwendet, was aber unter Umständen zu unentdeckten Messfehlern, bzw. zu „eigenartigen“ Depolarisierungsmessungen führen kann).

Komplizierte Sensoren, wie Feuchtesensoren, oder Widerstandssensoren benötigen zusätzliche Leitungen für die Stromversorgung der Elektronik dieser Module.

Die Anzahl der Leitungen, die zum zentralen Überwachungsschrank geführt werden, nehmen rasch unhandliche Dimensionen an. Bei einer Brücke wäre eine Spannweite von ≥ 500 m ein kritischer Wert, bei einem mehrgeschoßigen Parkhaus eine Grundfläche von ≥ 2000 m². Ab dieser Größe müsste die Überwachung auf mehrere Überwachungseinheiten aufgeteilt werden, die meistens auch separat über Datenleitungen angesprochen werden müssen.

Der Nachteil dieses „zentralen“ Systems für große Überwachungsobjekte ist offensichtlich: Die Verwendung von notwendigerweise mechanisch robusten Kabeln und die Montage derselben bedeuten relativ hohe Materialkosten. Dazu kommt, dass konventionellen Datenloggern mit analogen Messeingängen eine begrenzte Anzahl von Messkanälen zur Verfügung stehen. Bei großen Objekten mit zahlreichen zu überwachenden Messsensoren müssen notwendigerweise mehrere Datenaufzeichnungseinheiten montiert werden. Die Kosten erhöhen sich demnach entsprechend.

Ein messtechnisches Problem stellt die Übertragung von Niederspannungssignalen dar:

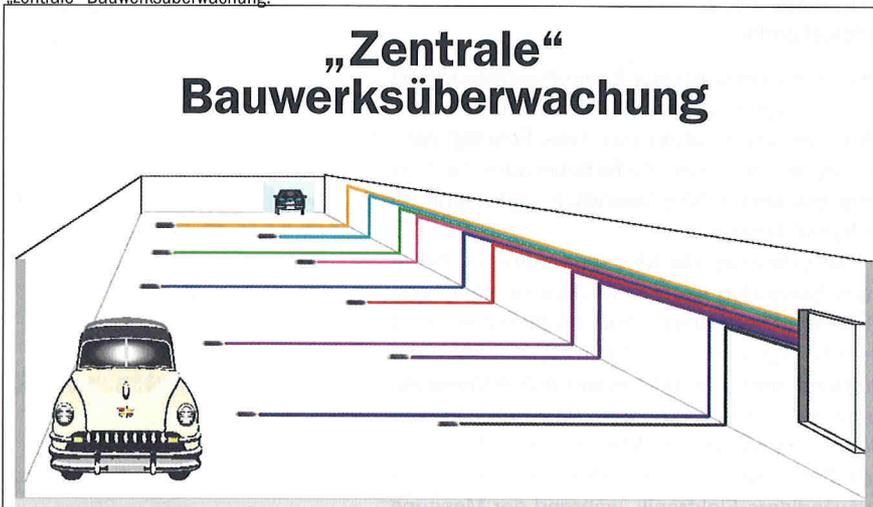
Häufig treten Probleme bei der Messwertübertragung bei Störeinstreuungen auf. Diese werden meist durch kapazitive (elektrische Felder) oder induktive (Magnetfelder) verursacht, und treten bevorzugt in der Nähe von Elektromotoren, Leuchtstoffröhren, oder Netzspannung führende Leitungen auf (50-Hz-Rauschen). Je niedriger das Spannungsniveau des gewünschten Nutzsignals (Messwert) ist, desto stärker wirken sich die Störeinstreuungen aus.

Das heißt für den Fall der Überwachung des Bewehrungspotenzials an Brücken:

Durch die langen Leitungen für die Übertragung der Messwerte von einer Referenzelektrode kann das Messsignal leicht durch die Streubeinflussung von oftmals längs der Brücke geführten Starkstromkabeln u. ä. unangenehm beeinflusst werden. Bei der Übertragung komplizierterer Messsignale, wie zum Beispiel von Transienten (werden bei Korrosionsmessungen angewandt) kann das Problem zu totalem Misserfolg der Messung führen.

Bei der „zentralen“ Bauwerksüberwachung sind alle Messmodule im Überwachungsschrank montiert. Der Ausdehnung des zu über-

Herkömmliche, „zentrale“ Bauwerksüberwachung.



wachenden Objektes sind dabei durch die Praktikabilität natürliche Grenzen gesetzt. Abbildung 2 zeigt den Überwachungsschrank für ein kleines Forschungsprojekt des Verfassers mit der großen Anzahl der angeschlossenen Messleitungen und den „zusammengepferchten“ Sensoreinheiten.

Verbesserung der Übertragung

Die Kabelverbindung zwischen Messfühler und Auswerteeinheit soll so kurz wie möglich gehalten werden. Das würde für die Bauwerksüberwachung bedeuten: An jeder Stelle eines Sensors wird in unmittelbare Nähe eine Messwerterfassung montiert.

Eine Verbesserung der analogen Datenübertragung lässt sich durch Verwendung von abgeschirmten Kabeln und paarweiser Verdrillung reduzieren. Dadurch erhöhen sich aber wiederum die Kosten für die Leitungen.

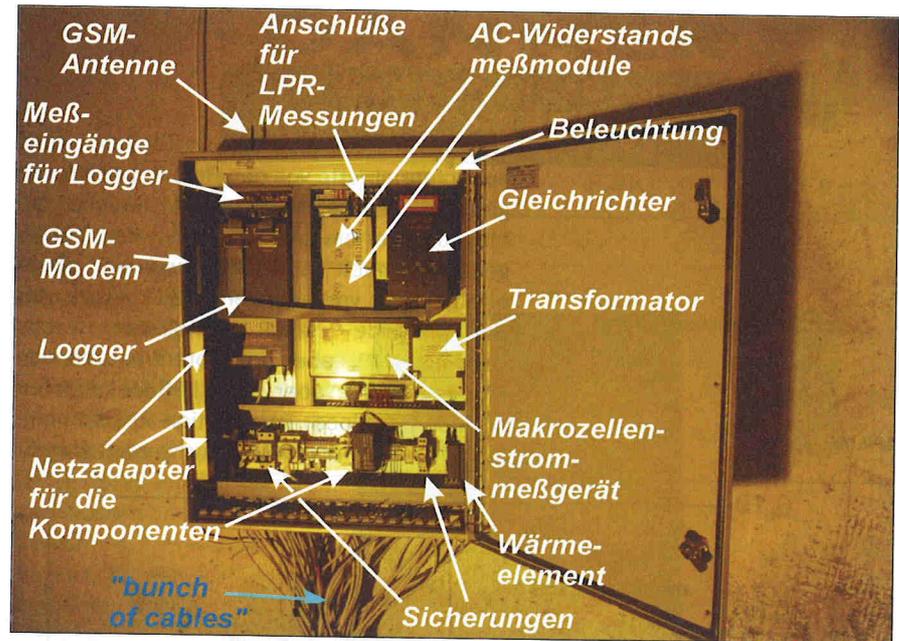
Die Signalspannung sollte hoch im Verhältnis zur Störspannung sein. Ein Messbereich für einen Sensor von 0–10 V ist besser als 0–100 mV. Bei der Bauwerksüberwachung kommt dazu, dass die gängigen Datenaufzeichnungsgeräte meist nur eine Auflösung von 1 mV haben und daher größere Messbereiche vorteilhaft sind. Bei hohen Störpegeln (oder sehr langen Verbindungsleitungen) sind Stromausgänge (z. B. 0–20 mA oder 4–20 mA) den Spannungsausgängen überlegen.

Wie eben dargelegt, ist der analoge Teil der Signalübertragung erheblichen Fehlermöglichkeiten ausgesetzt. Diese Fehlerquellen können entscheidend durch Digitalisierung der Messwerte gleich am Ort des Sensors reduziert werden. Sobald ein Messwert in digitaler Form vorliegt, kann er elektronisch gespeichert und für weitere Berechnungen verwendet werden, etc. Besonders dann, wenn die Information an einen entfernten Ort übertragen werden soll, ist die digitale Form bezüglich Übertragungsfehlern wesentlich sicherer.

Dezentrale Bauwerksüberwachung

Die dezentrale Bauwerksüberwachung wird im Folgendem am Beispiel des Systems Camur II* diskutiert. An der Entwicklung dieses Systems war der Verfasser des Artikels mitbeteiligt.

Bei der dezentralen Bauwerksüberwachung werden alle genannten Fehlerquellen durch frühe Digitalisierung des Messsignals weitgehend eliminiert. Dazu wird jedem Messsensor, der im Bauwerk eingebettet (am Bauwerk angebracht)



Fotos: V&C

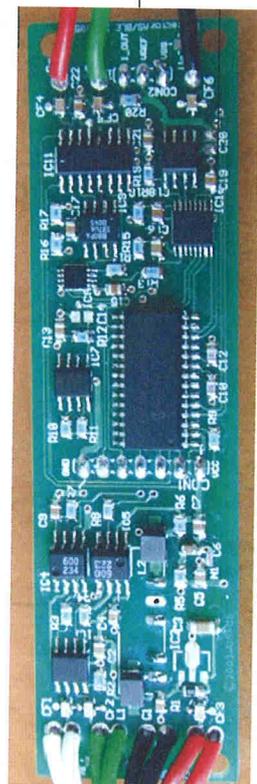
„Vollinstrumentierter“ Messschrank

wird, ein kleiner elektronischer Bauteil beigefügt, ein so genannter „Node“ (engl.: Knoten). Dieser Messknoten ist einerseits an das Messnetz und die Stromversorgung angeschlossen, andererseits an den jeweiligen Sensor (Abbildung 3).

Die Sensoranschlüsse des Messknotens sind vom Messnetz und von der Stromversorgung galvanisch durch einen Opto-Koppler isoliert. Jeder Messpunkt ist also vom Rest der Installation isoliert. Gegenseitige elektrische Beeinflussung ist daher nicht möglich. Der Messknoten verfügt über eine interne Seriennummer (Kennung) und über eine Autoidentifizierung. Dadurch wird er automatisch in der Überwachungssoftware identifiziert und zugeordnet.

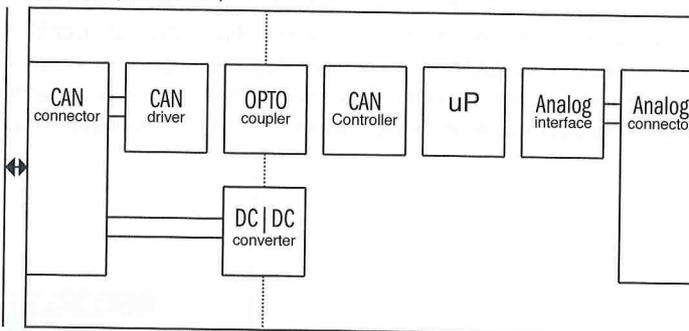
Messknoten:

Sensoranschluss



Messnetz und Stromversorgung.

Messknoten (schematisch)

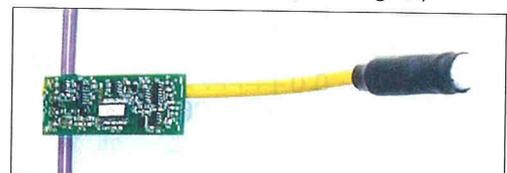


Die Komponenten für eine Potenzialmessung sind in Abbildung 5 in logischer Anordnung gezeigt.

Als Referenzelektrode dient im vorliegenden Fall eine handelsübliche Mangandioxid-Elektrode**. Die analoge Datenleitung überschreitet 50 cm üblicherweise nicht. Der Messknoten ist in der Praxis in ein geeignetes Harz eingegossen und wird mit den Leitungen in den Beton eingebettet. Neben einem Mess-

Referenzelektrode

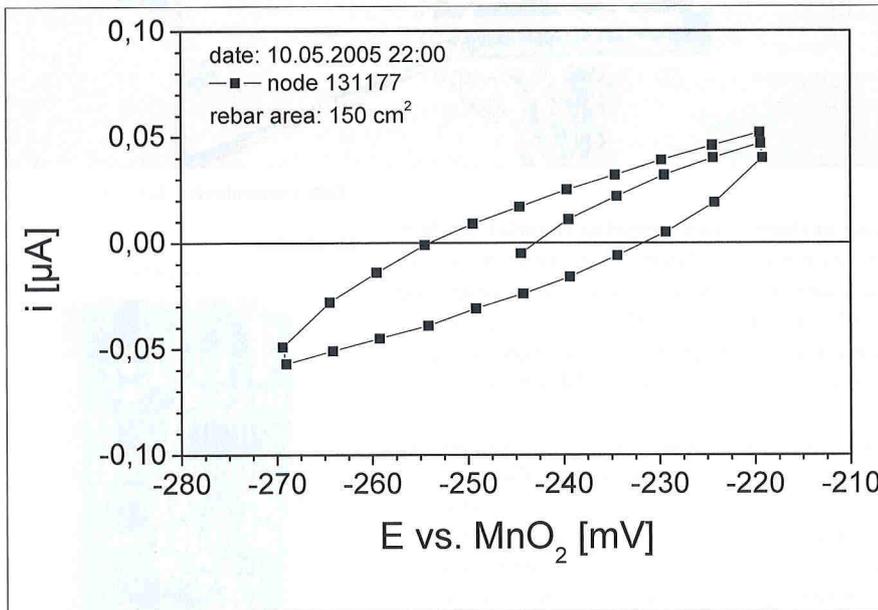
mit Messknoten (Größenvergleich)



* ERE-20 Elektrode, Produkt von www.force.dk
 ** Produkt der Firma Protector as www.protector.no

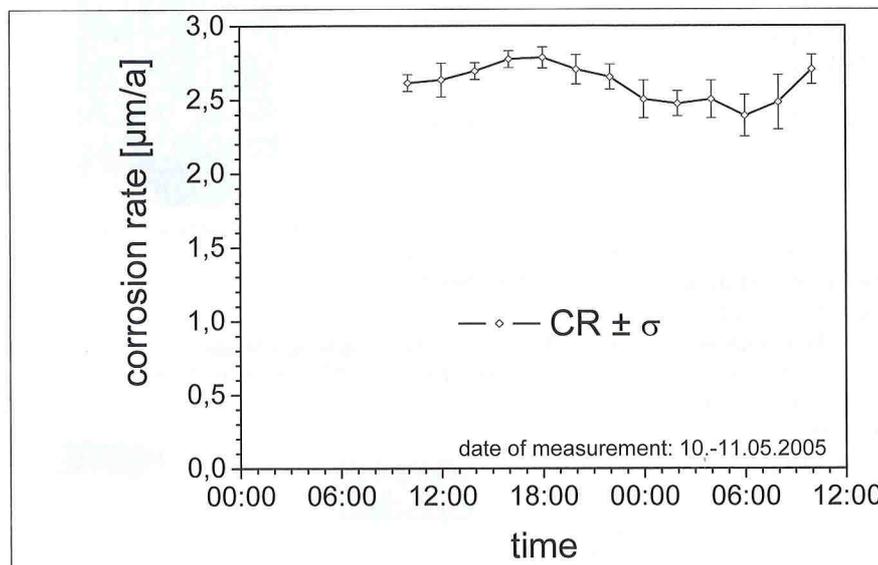
knoten zur Registrierung und Digitalisierung der Potenzialwerte von den Referenzelektroden gibt es andere Messknoten, welche zur Messung der elektrochemischen Korrosionsgeschwindigkeit entwickelt wurden. (Dies erfolgt im vorliegenden Fall nach der SACVMethode small amplitude cyclic voltammetry⁴¹, aber im potentiostatischen Modus⁴², wird aber als LPR-Messknoten bezeichnet (Linear Polarisation Resistance). Ein Beispiel einer LPR-Messkurve zeigt Abb. 6.

LPR-Messkurve



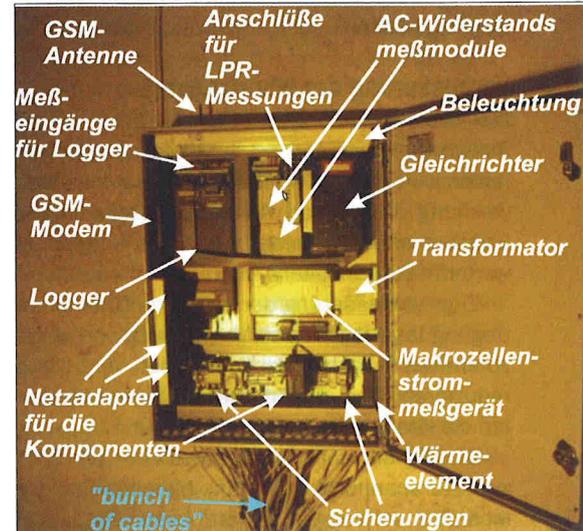
Aus den LPR Messkurven werden die Korrosionsraten berechnet, welche wiederum gegen die Zeit aufgetragen werden können. Dadurch lassen sich sehr leicht Trends ablesen. In Abbildung 7 ist wahrscheinlich die tägliche Temperaturvariation für die wellenförmige Änderung der Korrosionsrate verantwortlich.

Änderung der Korrosionsrate im Laufe eines Tages



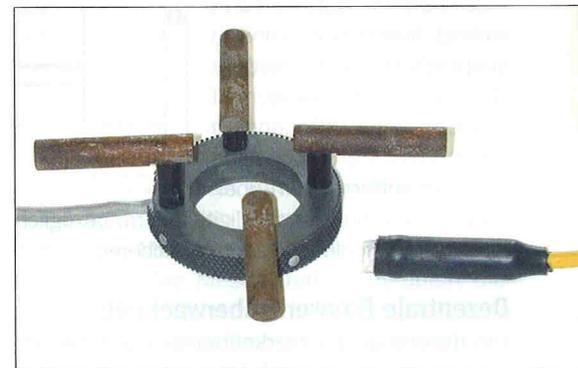
*** CorroWatch Sensor, Produkt von www.force.dk

Die Einbettung des Messknotens, der Leitungen und der Sensoren ist in Abbildung 8 gezeigt. Alle Kabeln und Komponenten sind aus betonverträglichem Material und können mit Mörteln eingegossen werden.



Installation eines Messknotens mit Sensoren und Leitungen.

Es ist möglich, einen ähnlichen Messknoten mit einem „Korrosivitätssensor“^{***} zu kombinieren. Dieser Korrosivitätssensor gibt im Wesentlichen Aufschluss über die Aggressivität des Betons (für den Bewehrungsstahl) in unterschiedlichen Einbettstiefen. Praktisch kann man damit die Wanderung der Chloridfront von außen nach innen über die Zeit verfolgen. Schematisch ist diese Anordnung in Abbildung 9 gezeigt. Der Sensor besteht aus vier radial angeordneten und höhenversetzten Stahlbolzen und einer ringförmigen Titangitterelektrode. Eine Referenzelektrode komplettiert das Assemble.



„Korrosivitätssensor“ mit Referenzelektrode.

Zur Bestimmung der Korrosivität des Betons in den unterschiedlichen Tiefen werden an den vier Stahlbolzen LPR-Messungen unter Verwendung der ringförmigen Titangitterelektrode als Gegenelektrode durchgeführt.

DANNER

- Landschaftsbau
- Begrünungen
- Erosionsschutz

Tel.: 07614/6282 Fax: 07614/7563
www.danner-landschaftsbau.at



Die Funktionsweise

Die Datenaufzeichnungseinheit besteht im Wesentlichen aus einem Computer (Messcontroller), der mit einem Messbus ausgestattet ist, an dem wiederum die einzelnen Messknoten angeschlossen sind. Es ist ein ausbaufähiges System. Es kann auf einer kleinen Fläche mit wenigen Sensoren, oder auf einer mehrere hundert Meter ausgedehnten Fläche mit mehreren hundert Sensoren betrieben werden.

Die unterschiedlichen Sensoren (Potenzial, Korrosion Temperatur, etc.) sind an die entsprechenden Messknoten angeschlossen. Das funktioniert nach dem Prinzip des „plug and play“: Sobald ein Sensor an das System angeschlossen wird, gibt er dem Aufseher bekannt, dass er verfügbar ist, und welche Messungen durchzuführen er imstande ist. Der Sensor ist in die Sensorübersicht der Software sofort eingebunden und kann leicht der richtigen Zone zugeordnet werden.

Das mit einer Stromversorgung verbundene Messnetz verbindet nun alle Messknoten mit dem Messcontroller über einen CAN-Bus****. Es ist nur ein Kabelset nötig, um den Messcontroller mit allen Messknoten zu verbinden. Das Messnetz kann also über den kürzesten Weg von Messpunkt zu Messpunkt gelegt werden.

Der Messcontroller ist der „Aufseher“ der Installation. Er ist verantwortlich für die Konfiguration, für die Dateneinsammlung, für das Setzen der Alarme und für das Aufzeichnen aller wichtigen Ereignisse (event-log).

Letztlich ist noch ein Benutzerinterface nötig, um den Messcontroller zu bedienen. Die Überwachungssoftware kann sowohl auf dem Messcontroller oder über Fernsteuerung „im Büro“ betrieben werden. Der Aufbau des Systems wird in Abbildung 10 gezeigt

Der Messcontroller muss nur noch an einen geschützten Platz, vorzugsweise in einem Messschrank montiert, und an eine Datenübertragungsleitung (z. B. LAN) angeschlossen werden.

Ähnlich den einzelnen Überwachungssensoren können auch Gleichrichter für KKS über einen Messknoten an die Datenleitung angeschlossen werden. Dieser Messknoten (ein Input/Output Knoten) kann alle elektrischen Geräte steuern, welche über einen entsprechenden Eingang verfügen.

Das System erlaubt eine bessere Ausdifferenzierung durch Anpassung der Kapazität des Gleichrichters an „natürliche“ Zonengrößen. Damit werden unerwünscht hohe Spannungsabfälle im Anode (sowohl in den Anodenkabel, in der Primär- als auch in der Sekundäranode) vermieden.

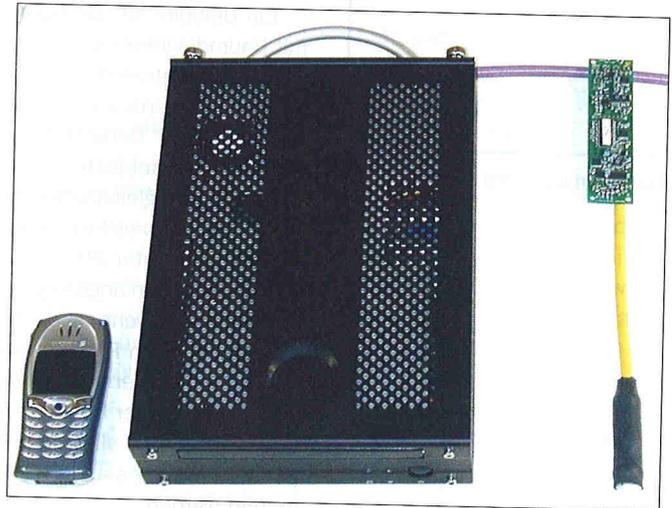
Die Software

Die Software ist als Client/Server System aufgebaut:

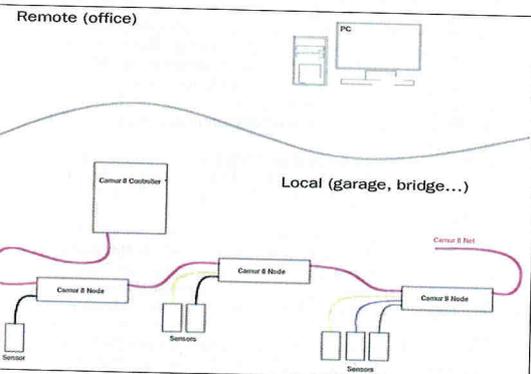
Das Serverprogramm ist für die Systemkonfiguration, für die Datenspeicherung und für die Steuerung der Messknoten verantwortlich. Es versorgt den Klienten mit Information und führt die gewünschten Prozesse durch.

Für den Klienten gibt es ein Monitoring Programm als User-Interface für die Installation: Es zeigt das Überwachungsprojekt als Baumdiagramm, beginnend mit dem Projektnamen, danach die einzelnen Messcontroller für die Messnetze. Jeder Messcontroller ist vorzugsweise in logische Untereinheiten (Zonen) aufgeteilt, wie z. B. Schutzzonen im Falle von KKS. Die Zonen beinhalten die einzelnen Sensoren oder Schutzstromgleichrichter.

Zusammen mit dem Baumdiagramm beinhaltet das Schirmbild ein Informationspanel mit einem oder mehreren Tabs. Abhängig davon, welches Objekt in der Baumstruktur aktiviert ist erscheint ein unterschiedliches Fenster im Informationspanel. Die Information reicht von objektspezifischen Information (Errichtungsjahr,



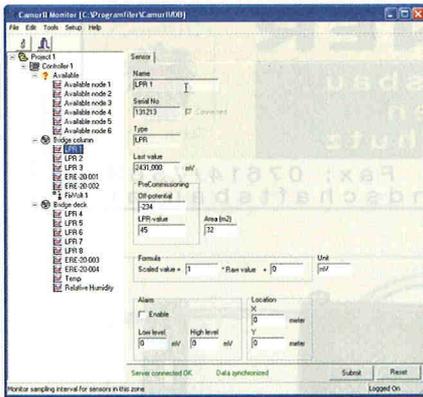
Referenzelektrode und Korrosionssensor mit Messknoten und Messcontroller (Größenvergleich).



System Übersicht über das Camur II dezentrale Überwachungssystem.

Das dezentrale Überwachungssystem von den Messsensoren bis zum Messcontroller ist kein unhandliches System. Ein Größenvergleich der Komponenten ist in Abbildung 11 ersichtlich.

**** Der CAN-Bus wurde von der Firma Bosch 1991 für den Einsatz in Kraftfahrzeugen entwickelt. Das Protokoll ist in der ISO 11898 international standardisiert.



Softwareinterface für den Klienten.

Größe, Kunde, etc.) über Zonengrößen und Sensorkoordinaten bis zu für die jeweiligen Messsensoren spezifische Information (Sensortyp, Skalierung, Alarmgrenzen, etc.).

Ein Beispiel für das Bedienfeld des Klienten mit Baumdiagramm und Informationspanel ist in Abbildung 12 gezeigt.

Das Klientenprogramm erlaubt die gewöhnliche Bedienung eines einzelnen Überwachungsobjektes. Im Projektmanagermodus ist die gleichzeitige Handlung von allen Überwachungsprojekten möglich. So kann in diesem Modus unter 20 KKS-Objekten bei einem ein Alarmzeichen angezeigt sein (z. B. Überpolarisierung der Bewehrung an einer Messstelle). Es ist dann für den Projektmanager ein Leichtes, sofort die nötigen Aktionen zu setzen. Gleichzeitig dient dieser Modus zur Synchronisierung. So kann für alle KKS-Projekte die Depolarisationsmessung synchronisiert durchgeführt werden.

Das Gesamtsystem

Auf Grund des Bussystems der Datenübertragung, wo jeder Messknoten (damit jeder Sensor) seine eigene elektronische Kennung hat, können praktisch unbegrenzt viele Sensoren an eine Messeinheit an die Überwachungseinheit angeschlossen werden (Abbildung 13). Nur vier Leitungen, die zu einer Sammelleitung zusammengefasst werden können, werden in den Überwachungsschrank geführt. Dadurch verringert sich die Fehleranfälligkeit des Systems

TECHNISCHE DATEN

Es handelt sich hier um „typische Kenndaten“. Das System wird ständig weiterentwickelt und verbessert, daher sollen die Werte primär nicht als „Beschränkungen“ angesehen werden.

Camur II Controller

Data storage:	500 000 Sample
Data rate	1 000 Samples/s and Camur II Net
Channels:	≤500
Channels/Camur II Net	≤100
Camur II Nets:	≤5
LAN	1

Camur II Net

Maximum no of nodes:	100
Maximum length:	1000 m

Camur II Nodes

Isolation voltage:	1000 V
--------------------	--------

Camur II P (Potential)

Inputs:	1
Input range	±2 V
Resolution	0.1 mV
Accuracy:	100 ppm
Temperature coeff.:	90 ppm/°C
Noise:	±1 division
Impedance:	50 M Ω
Sampling Interval	≥1 s

Camur II LPR (Corrosion Rate)

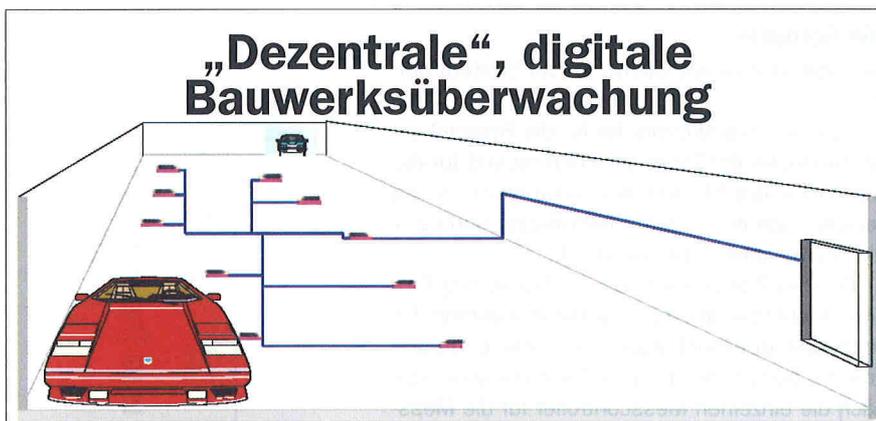
Inputs:	2
Voltage Input:	
Input range	±2 V
Resolution	0.1 mV
Current Input:	
Input range	±2 mA
Resolution	0.1 uA
Accuracy:	100 ppm
Temperature coeff.:	90 ppm/°C
Noise:	±1 division
Impedance:	50 M Ω
Sampling Interval	≥1 s
Outputs:	1
Output range:	±2 V
Resolution	0.1 mV

Camur II IO (Input/Output)

Inputs:	3
Input range:	20 V
Resolution:	1 mV
Accuracy:	100 ppm
Temperature coeff.:	90 ppm/°C
Noise:	±1 division
Impedance:	300 k Ω
Sampling Interval	≥1 s
Analogue outputs	1
Output range:	±2 V
Resolution	0.1 mV
Digital outputs:	2
Function:	Relay contact
Switching capability:	50/0.5 V/A

REFERENZEN

- 1 www.asfinag.at (2005)
- 2 „Bei Osternestsuche beinahe erschlagen – Betonteile stürzten von Brücke“ Der Kurier, S. 11, 29.04. 2005
- 3 J.P. Broomfield Corrosion Monitoring Systems for Reinforcing Steel in Concrete a State-of-the-art Report Report No. JPB-NRA-0595-002-019A, July 1995
- 4 Y. Schiegg Online-Monitoring zur Erfassung der Korrosion der Bewehrung von Stahlbetonbauten Dissertation ETH Nr. 14583 (2002)
- 5 F. Pruckner Diagnosis and protection of corroding steel in concrete Dr.ing Thesis 02:140 NTNU Trondheim, Nov. 02
- 6 ND BURKE ASSOCIATES, INC. www.ndburke.com/index.html (2005)
- 7 B. Bazzoni, L. Lazzari A New Approach for Automatic Control and Monitoring of Cathodically Protected Reinforced Concrete Structures Materials Performance, 31/12, 13-18 (1992) 10 Dezentrale Bauwerksüberwachung
- 8 P. Schießl, S. Rostam, M. Raupach Corrosion Monitoring Systems Installed in the Structures of the Great-Belt-Link-Projects – Monitoring as Part of a Multi-Barrier Protection Strategy Int. Symposium NDTE-CE, 28.- 28.09.1995, Berlin, pp. 109-119
- 9 S+R Sensortec GmbH Liefenweg 15, D-52078 Aachen www.sensortec.de (2005)
- 10 persönliche Information von Dr. Ch. Sodeikat, Ingenieurbüro Schießl (2005) www.ib-schiessl.de
- 11 D.D. Macdonald An Impedance Interpretation of Small Amplitude Cyclic Voltammetry I. Theoretical Analysis for a Resistive-Capacitive System J. Electrochem. Soc., 125, 1443-1449 (1978)
- 12 F. Pruckner Concrete – Measurements and Interpretation Diss. Universität Wien, Mai 2001, S. 48



Dezentrale Bauwerksüberwachung.

dramatisch – eben durch seine Einfachheit.

Bei Vergleich von Abbildung 1 mit Abbildung 13 wird ersichtlich, dass speziell bei ausgedehnten Objekten die Einsparung der Leitungslängen beträchtlich wird. Es ist zu bedenken, dass nicht nur das Material eingespart wird, sondern in einem wesentlich größerem Umfang die mit der Verlegung der Leitung verbundenen Arbeitszeit.

Franz Pruckner

V&C Kathodischer Korrosionsschutz GmbH