

# MITTEILUNGEN DES FACHVERBANDES KATHODISCHER KORROSIONSSCHUTZ E.V.

E 13001 F

Juni 2001

Nr. 40

## KASTELLO

Kathodische Korrosionsschutz-Technik mit solarelektrischer autarker Energieversorgung und spezieller Steuerelektronik für Stahlbetonbauwerke und gefährdete Objekte

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem Az: 06352 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

*Fachreferat, gehalten von Herrn Dipl.-Ing. Karl-Heinz Korupp, SET selected electronic technologies GmbH auf der Jahreshauptversammlung 2000 des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e. V. in Fulda (Fortsetzung)*

### 5.1.3 Forschungsplattform

Die Betonplattform KASTELLO wurde im Rahmen dieses F&E Vorhabens als Demonstrationsobjekt, als Forschungsplattform für weitergehende Untersuchungen und besonders als Testplattform für neuartige Geräte auf dem Werksgelände der SET GmbH Wedel realisiert. Sie hat eine Gesamtfläche von ca. 73 m<sup>2</sup> (LxB: 15,6x4,7 m) und eine mittlere Dicke von 260 mm.

Der Aufbau (siehe Bilder 10 bis 16) wurde in Abstimmung mit der BAM und De Nora wie folgt realisiert:

Unterste Lage: 5 cm Sauberkeitsschicht (B15) mit Folientrennung zur Plattform.

Weitere Lagen: 4 cm unter der ersten Bewehrung, jeweils 5 cm zwischen den Bewehrungen, 3 cm oberhalb der obersten Bewehrung (Qualität B35).

Oberste Lage: Auf dem Betonkörper mit den Bewehrungen wurden die Titan-Anoden montiert (Bild 15 und Kapitel 5.1.4.3) und mit einer 4 cm Betonschicht (B25) abgedeckt.

Die Gesamtplattform (siehe Bild 10) wurde in vier einzelne Platten, galvanisch durch Isoliermaterial getrennt, aufgeteilt. Drei Einzelplatten wurde in jeweils vier Segmente und eine Platte in 2 Segmente aufgeteilt. Der Abstand und die Trennung zwischen den Segmenten (7A) und (8B) resultierte aus bautechnischen Vorgaben (Wasserführung auf dem Werksgelände). Die elektrisch aktive Fläche pro Bewehrungsstahl-Matte (1 m x 4,33 m) beträgt 0,94 m<sup>2</sup>. Im Bild 10 ist die Anordnung der Bewehrungsmatten und der Titananoden sowie die Anordnung der Elektroden eingezeichnet.

Die Platten 1 bis 3 wurden jeweils mit 2 % Cl kontaminiert um realistische Bedingungen für den Bewehrungsstahl in aggressiver Umgebung zu schaffen. Zum Vergleich wurde die Platte 4 ohne Cl Kontamination realisiert. Die Cl Kontamination wurde durch Beimischung von 98 % igem CaCl erreicht; es wurden 11,6 kg CaCl<sub>2</sub> in Wasser aufgelöst, pro 1 m<sup>3</sup> Beton bei einem Zementanteil von 370 kg pro 1 m<sup>3</sup> Beton beige-mischt.

Das Blockschaltbild 9 gibt eine Übersicht über den elektrischen Aufbau der Forschungsplattform. Die Platten 2 und 3 werden jeweils über ein Schutzstromgerät aus dem Stromnetz und die Platte 4 aus einem der beiden Solargeneratorsysteme (Bild: 18) versorgt. Für die Platte 1 ist ebenfalls ein Schutzstromgerät vorgesehen, aber zur Zeit noch nicht im Einsatz, da diese Platte bis auf weiteres ohne kathodischen Korrosionsschutz vermessen wird.

Das Bild 17 zeigt den Schaltschrank mit dem Messdatenerfassungssystem und den vier Schutzstromgeräten. Alle Bewehrungsmatten, Anoden und Elektroden sind mit Einzelkabel von der Plattform zum Schaltschrank geführt. Dieses ermöglicht uns an zentraler Stelle die Einzelströme zu messen und gegebenenfalls Fehler zu detektieren.

Es wurden alternativ zwei solarelektrisch versorgte Schutzstrom-Einheiten mit folgenden Geräten aufgebaut:

+ System 1:

µC PROTRONIC, 19" Ladegerät, 63 Ah wartungsfreier Akkumulator. Solargenerator: Shell RSM 100

+ System 2:

PROTRONIC 06/100, Ladegerät CDC 0604, 20 Ah wartungsfreier Akkumulator. Solargenerator: 4 Streifenmodule: 6 und 3 V.

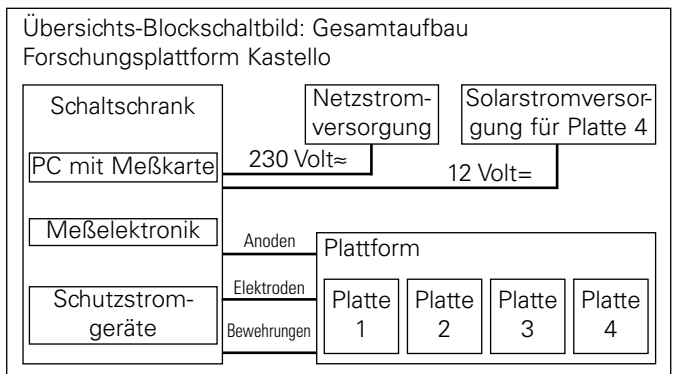


Bild 9: Übersichtsschaltbild der Forschungsplattform

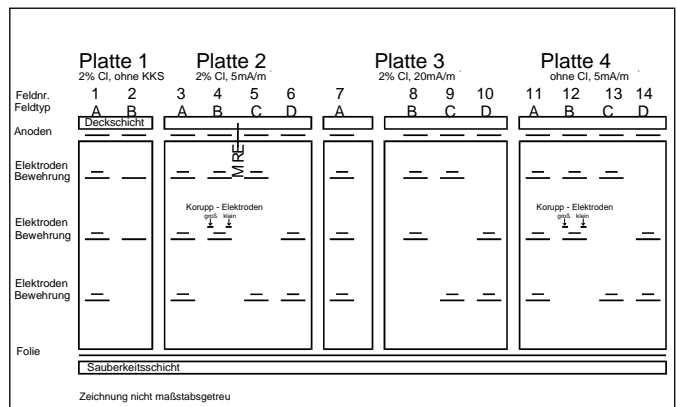


Bild 10: Aufbau der Stahl-Beton-Plattform



Bild 11: Bewehrungsstahl Anordnung



Bild 12: Betonierung der Plattform



Bild 13: Typische Anordnung der Mess-Elektroden



Bild 14: Einbau dere Multiringelektrode



Bild 15: Montage der Titan-Anodenmatten



Bild 16: Aufbringung der Beton-Deck-Schicht



Bild 17: Schaltschrank mit Messdaten-Erfassung und Schutzstromgeräte 1 bis 4



Bild 18 Schaltschrank System 1 und 2

## 5.1.4 Gerätetechnik

Zu den Entwicklungsschwerpunkten im Rahmen dieses Vorhabens zählen die Entwicklungen der Schutzstromgeräte und der Laderegler.

Grundsätzliche Systemüberlegungen zur Geräteentwicklung

Bei den Untersuchungen an realen Objekten hat sich gezeigt, dass der Ausbreitungswiderstand in den Betonbauwerken grundsätzlich sehr gering ist. Für die Schutzstromgeräte bedeutet das, die Treibspannung ist klein und liegt nur im Bereich einige Volt. Dies ist ungewöhnlich im KKS und führte notwendigerweise zu der Entwicklung neuer Geräte.

Die Entwicklung baute auf vorhandenen Geräten auf, wobei allerdings die Endstufen in Hinsicht auf einen guten Wirkungsgrad völlig neu gestaltet wurden. Im Gegensatz zu konventionellen Anwendungen ist es im KKS wie auch im KKS-B nicht ohne Weiteres möglich, getaktete Systeme zu verwenden. Die Schwierigkeit liegt in der nicht definierbaren Struktur der zu schützenden Bewehrungen in einem realen Bauwerk.

Geht man von einer Taktfrequenz im Bereich 20 kHz bis 100 kHz aus, die man aus Gründen der Baugröße für die Schutzstromgeräte unbedingt erzielen muß, so ergibt sich aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit:

$$V = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = (\text{m/s})$$

bei einem  $\epsilon_r$  von 4 eine Wellenlänge im Kilometerbereich.

Bei Strukturgrößen von einigen 10 Metern, die mit  $\lambda/16$  oder  $\lambda/32$  korrespondieren, ergibt sich eine sehr gute Antenne. Das bedeutet, dass bei nach EN 50081 und 50082 durchaus zulässigen Ripplespannungen von 70 mV auf dem Ausgangssignal erhebliche abgestrahlte Leistungen auftreten. Es ist daher nicht möglich, mit getakteten Systemen direkt an das Schutzobjekt zu gehen.

Eine lineare Endstufe ist deshalb unumgänglich. Für den Solarbetrieb muß aber die Verlustleistung so klein wie möglich gehalten werden, das heißt, der Spannungsabfall an der Endstufe muß so gering wie möglich sein, andererseits sollen die Geräte kostengünstig bleiben. Es wurde deshalb als Kompromiß die minimale Systemspannung aller Anlagen auf 6 V festgelegt. Dieses Spannungsniveau ist mit vertretbarem Aufwand kaum zu unterschreiten, da für die Steuerelektronik zur Zeit noch 5 V benötigt werden. Solargeneratoren für 6 V sind zwar Sonderanfertigungen aber Batterien mit erforderlicher Kapazität sind im Industriesektor üblich. Problematisch ist der Ganzjahresbetrieb der Anlagen. Um diesen zu ermöglichen, erfolgt die Auslegung auf die schlechtesten Monate November und Dezember. Dies führt zu einem enormen Leistungsüberschuß der Solaranlage im Sommer, und bei niedrigen Systemspannungen zu sehr hohen Strömen, die letztlich die elektrische Auslegung der Laderegler und auch das Preis/Leistungsverhältnis bestimmen.

Aufgrund dieser Probleme wurden zwei unterschiedliche Anlagenkonzepte entwickelt. Für kleine Schutzobjekte ein kostengünstiges vom Solargenerator über Laderegler und Schutzstromgerät direkt an 6 V zu betreibendes System und für größere Schutzobjekte ein System mit digitaler Vorregelung, das an 12 V oder 24 V Solaranlagen zu betreiben ist, aber ebenfalls nur 6 V Ausgangsspannung liefert.

### 5.1.4.1 Schutzstromgeräte

Die Schutzstromgeräte des Typs PROTRONIC und  $\mu\text{C}$  PROTRONIC der SET GmbH waren die technische Basis für die neu zu entwickelnden Schutzstromgeräte für den Einsatz im Stahlbetonschutz. Beide Gerätefamilien mussten jedoch komplett überarbeitet und an die niedrige Ausgangsspannung angepasst werden. Für die Regelstufe bedeutete das, dass ausschließlich Rail to Rail Verstärker benutzt werden konnten und die Logikschaltungen durch High Speed CMOS ersetzt werden mussten. Diese Bauteilfamilien haben zwar im Hinblick auf Aussteuerbarkeit und Schaltgeschwindigkeit erhebliche Vorteile, sind aber außerordentlich empfindlich gegen Überspannung. Während Standard CMOS Bauteile mit 18 V arbeiten und Standardverstärker sogar mit 36 V, liegen hier die Grenzwerte bei 6 V bzw. 12 V. Bei allen KKS Systemen ist mit Rückspannungen vom Schutzobjekt in die Anlage von mehreren tausend Volt und enormer Energieinhalte zu rechnen, sei es durch induzierte Spannungen in den Pipelines bei Kurzschlüssen im Hochspannungsnetz oder durch Blitzeinschläge in z. B. Brückengeländern von Stahl-Beton Bauwerken, die sich als Blitzableiter geradezu anbieten. Diese sehr geringe Spannungsreserve war eines der größten Probleme. Normale Blitzstromableiter, (Schutzpegel 1500 V<sub>eff</sub>) schieden wegen der Baugröße und der Kosten für den standardmäßigen Einsatz sofort aus. In exponierten Anlagen müssen sie nachgerüstet werden. Der gestaffelte Einsatz von Blitzstromableiter → HF Drossel → Varistor → HF Drossel → Suppressordioden → HF Drossel → Z-Dioden bereitete aufgrund der zwangsläufig eingebauten Induktivitäten erhebliche regelungstechnische Probleme. Zum Einsatz kam daher eine neu entwickelte Crowbar Schaltung, die bei rückgespeisten Strömen bis etwa 500 A die Anlage für 20  $\mu\text{s}$  sicher schützt. Diese Schaltung wurde im Verlauf der Entwicklungsphase an einer stark beeinflussten Rohrleitung und in unserem E-Labor getestet.

Die Geräte der PROTRONIC Serie sind analog arbeitende Maschinen, die einen Regelbereich von 0 bis 100 mA haben und aufgrund der anfallenden Verlustleistung einen maximalen Schutzstrom von 0,6 A bei 12 V Treibspannung auch im Kurzschlussfall dauerhaft liefern können. Die  $\mu\text{C}$ -PROTRONIC Geräte liefern 2 A ebenfalls bei 12 V und 2,5 A im Kurzschlussfall. Da beide Geräte eine lineare Endstufe haben sind aufgrund der zulässigen Verlustleistung bei 6 V Betrieb die Ströme faktisch doppelt so hoch.

Beide Gerätetypen sind vollelektronisch und jeweils für Potential-, Spannungs-, und Stromregelung ausgerüstet. Bei den PROTRONIC Geräten ermöglicht ein umschaltbares Analogmeßinstrument (Klasse 1,5) die Anzeige von (Einschalt-) Potential, Schutzstrom, Ausgangsspannung und Zwischenkreis- bzw. Batteriespannung. Bei den  $\mu\text{C}$ -PROTRONICs gestattet der eingebaute Mikroprozessor eine Vielzahl von Auswerte- und Überwachungsmöglichkeiten sowie die permanente Anzeige aller wichtigen Daten auf einem 4 zeiligen LCD Display.

Beide Gerätetypen sind kompakt aufgebaut und für den Einsatz in rauher Umgebung konzipiert. Die Geräte verfügen über quasipotentialfreie Meßeingänge für die stromkompensierte Messung des Schutzpotentials und der Bewehrungs-Anoden Spannung. Die Geräte verfügen ferner über einen Stopeingang, der über einen Open collector Signal oder über einen potentialfreien Schalter die Geräte ausgangsseitig in einen hochohmigen Zustand versetzt, so daß bei entsprechender Verschaltung der Gesamtanlage auch die Anzeige des Ausschaltpotentials möglich ist.

Die Geräte entsprechen den gängigen AfK Empfehlungen sowie den EG Normen EN 50081-1 und EN 50082-2.

Betriebsarten:

Potentialregelung

In der Betriebsart Potentialregelung wird die Spannung zwischen Dauerbezugselektrode und der Bewehrung potentialfrei gemessen und auf den voreingestellten Wert geregelt.

Spannungsregelung

Die Spannungsregelung entspricht im wesentlichen dem Verhalten konventioneller Gleichrichter, die Ausgangsspannung bleibt unter allen Umständen gleich.

Stromregelung

In dieser Betriebsart wird der Schutzstrom konstant gehalten. Schutzmaßnahmen

Als problematisch erwies sich der Fehlbedienungschutz der Schutzstromgeräte. Während der Verpolungsschutz und das Vertauschen von Eingangs- und Ausgangsklemmen relativ leicht durch Shuntioden und entsprechend dimensionierte Sicherungen abgefangen werden kann, ist ein Vertauschen des Anoden- und des Schutzobjektanschlusses nur indirekt über das Verhalten des Schutzpotentials feststellbar. Beide Schutzstromgeräte haben deshalb eine permanente Potentialanzeige die eine leichte Überprüfung des korrekten Anschlusses ermöglicht. Die mikroprozessorgesteuerte  $\mu C$  Protronic überwacht darüberhinaus automatisch Schutzstrom, Treibspannung und das Potential und gibt im Fehlerfall eine mit einstellbarer Verzögerungszeit eine Meldung an eventuell vorhandenes Leitsystem. Selbstverständlich kann diese Meldung auch zur automatischen Abschaltung der Anlage benutzt werden. *Fortsetzung in Folge 41*

Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V.  
Postfach 6004, 73717 Esslingen  
PVSt., DPAG, Entgelt bezahlt

E 13001

Impressum: Die Mitteilungen des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. werden vom Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V., Sitz Esslingen a. N., Postfach 6004, 73717 Esslingen, Telefon (07 11) 91 99 27 20, Telefax (07 11) 91 99 27 77 herausgegeben und erscheinen vierteljährlich. Der Bezugspreis ist durch den Mitgliedsbeitrag abgegolten. Für den Inhalt verantwortlich: Hans J. Spieth, Postfach 6050, 73717 Esslingen. Redaktion: Dipl.-Phys. W. v. Baeckmann, Essen, Hans J. Spieth, Esslingen. Für namentlich gekennzeichnete Beiträge trägt der Verfasser die Verantwortung. Nachdruck mit Quellenangabe und Übersendung von zwei Belegexemplaren erwünscht.

## Zu guter Letzt

Ich kenne meine Faulheit gut. Ich könnte eine Abhandlung darüber schreiben, wenn das nicht so viel Arbeit wäre.

*Jules Renard*

Schulungsangebot der Märkische Fachhochschule Iserlohn und Hagen

## Diplom-Zusatzstudium Korrosionsschutztechnik in Iserlohn

Die volkswirtschaftlichen Schäden durch Korrosion sind beträchtlich. In Deutschland wurden sie für 1999 auf 163 Milliarden DM geschätzt. Aber: allein durch Anwendung des bekannten Wissens auf dem Korrosionsschutzgebiet könnte fast jede vierte Mark eingespart werden: ein gewaltiges Einsparpotential! Hier setzt das postgraduale Zusatzstudium Korrosionsschutztechnik an der Märkischen Fachhochschule (MFH) in Iserlohn an.

Sein Steckbrief:

Ziel: Vermittlung grundlegender Kenntnisse der Korrosion von Werkstoffen und der Auswahl problemangepasster Schutzmaßnahmen.

Umfang: 3 Semester als Vollzeitstudium (Variante 1) oder  
6 Semester als berufsbegleitendes Teilzeitstudium (Variante 2).

Abschluß: Diplom-Ingenieur/in (FH) der Fachrichtung Korrosionsschutztechnik.

Voraussetzung: Abgeschlossenes ingenieur- oder naturwissenschaftliches Studium.

Beginn: Immer im Wintersemester. Nächste Einschreibung: bis Anfang Oktober 2001.

Vorteile: Hohe Flexibilität: Vollzeitstudierende können bei Berufsaufnahme jederzeit in die berufsbegleitende Studiervariante 2 wechseln.

Blockveranstaltungen (Dauer: 1–2 Wochen) zu den Studienmodulen erleichtern die Studiervariante 2 als berufliche Weiterqualifizierung.

In der Diplomarbeit können auf Wunsch auch Korrosionsprobleme des Arbeitgebers gelöst werden. Prof. Feser und Prof. Schmitt vom Labor für Korrosionsschutztechnik an der MFH Iserlohn helfen dabei. Besuchen Sie unsere Internet-Adresse [www.fbp.mfh-iserlohn.de/Labore/KST/index/html](http://www.fbp.mfh-iserlohn.de/Labore/KST/index/html).

Ausgezeichnete Berufsaussichten: Korrosionsschutzingenieure haben ein breites Einsatzfeld. Derzeit viele offene Stellen.

Option: Einbindung in das Experten-Netzwerk der GfKORR Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V., Frankfurt/Main.

Weitere Info: Märkische Fachhochschule Iserlohn;  
Studiengang Korrosionsschutztechnik; z. Hd. Frau E. Krekeler;  
Frauenstuhlweg 31; D-58644 Iserlohn;  
Tel. und Fax: 0 23 71 / 5 66-148;  
e-mail: [kst@mfh-iserlohn.de](mailto:kst@mfh-iserlohn.de)