

MITTEILUNGEN DES FACHVERBANDES KATHODISCHER KORROSIONSSCHUTZ E.V.

E 13001 F

Dezember 1995

Nr. 18

Bemerkungen zum Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes mit Hilfe von Meßproben

Fachreferat, gehalten von Prof. Dr. W. Schwenk auf der Jahrestagung des Fachverbandes, München 1995

Wenn wir heute etwa 4 Jahrzehnte Theorie und Praxis des kathodischen Rohrleitungsschutzes zurückverfolgen, so kann man feststellen, daß vor etwa drei Jahrzehnten weitgehend sich die Erkenntnis durchsetzte, zum Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Schutzes die Ausschaltpotentialmessung anzuwenden. Dies wurde dann in der DIN 30676 berücksichtigt, wobei Diskussionen um Meßpunkt, Meßstelle oder Fehlstelle der Umhüllung hier nicht vertieft werden sollen, weil sie nicht zu neuen Erkenntnissen führen. Es soll auch nicht verschwiegen werden, daß bei der Einführung der Ausschalttechnik von Anfang an bekannt war, daß die Ausschalttechnik auch nur einen Näherungswert liefern kann. Dieser Tatbestand wird im Handbuch etwas näher beleuchtet:

Die Tabelle 1 führt mit Gl. (1) den Ohmschen Spannungsabfall ein, wobei das Einschaltpotential nur dann definiert ist, wenn die Bezugselektrode außerhalb der Spannungstrichter von Fehlstellen und dem der Anodenanlage steht. In diesem Falle ist das Einschaltpotential für alle Fehlstellen eines Objektes gleich groß, so daß durch Summenbildung aus Gl. (1) die Gl. (2) folgt. Wenn in dieser Gleichung nun der Gesamtstrom gleich Null gesetzt wird, ergibt sich mit Gl. (3) eine Beziehung für das Ausschaltpotential des Systems mit mehreren Fehlstellen als Mittelwert der wahren Potentiale und Wichtung durch die Ableitungen der einzelnen Fehlstellen. Diese Gleichung enthält folgende Information:

1. Das Ausschaltpotential ist ein Mittelwert.
2. Aus dem Mittelwert kann man nicht auf den Höchstwert schließen.
3. Wenn man den Höchstwert nicht messen kann, kann man auch das Schutzpotentialkriterium nicht anwenden.
4. Wenn man das Schutzpotentialkriterium nicht anwenden kann, kann man auch den Nachweis über die Wirksamkeit des Schutzes nicht erbringen.

Diese extreme Negativaussage war schon immer bekannt, sie wurde aber in der Praxis verdrängt und stellt

sich wieder in einer Zeit der Bündelung von Fragezeichen zu technischen Vorgängen und Entwicklungen. Die in DIN 50925 behandelten Techniken sind in der Lage, aus dieser Notsituation einen Ausweg zu finden, so daß es naheliegend ist, sich mit diesen Techniken näher zu beschäftigen. Im Grundsatz kann man diese Lösungsmethoden alle aus Gl. (3) ableiten.

a) Intensivmeßtechnik

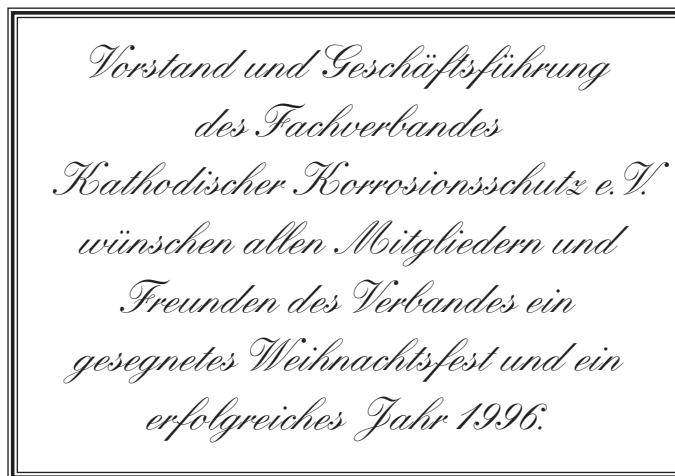
Die Gl. (3) gilt für mehrere Fehlstellen. Reduziert man die Anzahl der Fehlstellen auf $i = 1$, so vereinfacht sich Gl. (3) auf $U_{aus} = U_1$, d.h. die Ausschalttechnik ist anwendbar. Bei der Intensivmeßtechnik geht man praktisch die-

sen Weg dadurch, daß man einen Bereich mit einer Fehlstelle sucht und nur diese Stelle beurteilt. Es wird also das Problem der Mittelwertbildung mehrerer Fehlstellen schlicht dadurch umgangen, daß das Objekt zerteilt wird in Einzelbereiche mit nur einer Fehlstelle. Weitere Details werden hier als ausreichend bekannt vorausgesetzt, wobei nur nicht verschwiegen werden darf, daß die technischen Voraussetzungen für die Anwendung der Intensivmeßtechnik in vielen Fällen grundsätzlich nicht gegeben sind. Für solche Fälle sieht DIN 50925 die Methode b) vor:

b) Externe Meßprobe

Bei der externen Meßprobe macht man auch von Gl. (3) Gebrauch, in dem man postuliert, daß die Meßprobe als eine künstliche Fehlstelle das ungünstigste Potential (Höchstwert) haben soll. Dabei muß die Meßprobe auch so beschaffen sein, daß das wahre Potential der Meßprobe separat IR-frei gemessen werden kann. Erfüllt das Potential der Meßprobe das Schutzpotentialkriterium, sind auch alle anderen Fehlstellen geschützt, weil deren Potentiale insgesamt negativer sind. Zur Beurteilung des Verhaltens, d. h. der kathodischen Polarisierbarkeit der Meßprobe und der Fehlstellen geht man von einfachen Potentialgleichungen entsprechend Gl. (1) aus:

Die Tabelle 2 zeigt die benötigten Gleichungen, die zu einer Berechnung des wahren Potentials U_0 führen, soweit das Ruhepotential, das Einschaltpotential und die zwei



Größen L und k bekannt sind. Diese zwei Größen haben die Dimension einer Länge und beinhalten geometrische Daten der Fehlstelle oder der Meßprobe und elektrochemische Daten wie den Polarisationswiderstand und die Bodenleitfähigkeit. Der dimensionslose Quotient der beiden Größen k/L ist die *Wagnerzahl*. Ist die Wagnerzahl sehr groß wird das wahre Potential U_0 sehr negativ (Grenzwert Einschaltpotential), umgekehrt ist die kathodische Polarisation gering, wenn die Wagnerzahl klein wird (Grenzwert Ruhepotential). Man kann nun die Meßprobe und die Fehlstellen mit Wagnerzahlen versehen und kommt dann zu den Schutzkriterien für die Anwendung der Meßproben. Das allgemeine Kriterium lautet:

Alle Fehlstellen mit Wagnerzahlen $W > W^*$ sind kathodisch geschützt, wenn die Meßprobe mit W^* geschützt ist!

In dieser Aussage steckt nur die Annahme, daß die Ruhepotentiale und die Einschaltpotentiale (gemessen wieder außerhalb von Spannungstrichtern) gleich sind. Unsicherheitsannahmen, die in der DIN 50925 mangels besserer Erkenntnisse vermerkt werden – wie „Nahbereich der Meßprobe um z. B., 50 m“ – können fortan entfallen.

Die Tabelle 3 gibt eine Übersicht der aus dem allgemeinen Schutzkriterium (Fall 1) abgeleiteten Unterkriterien (2 und 3). Für konstante Abmessungen (Fall 3) folgen einige interessante Hinweise zum Einbauort und zur Beurteilung der Betriebsdauer. So sollte die Polarisierbarkeit zunehmen mit ansteigendem Betriebsalter, weil sich dann die Polarisationswiderstände durch Deckschichten erhöhen (Fall 3a). Eine frische (deckschichtfreie) Meßfläche der Meßprobe ist also vorzuziehen, um die Sicherheit der Aussage zu verbessern. Weiterhin sollte die Meßprobe in Bodenbereiche mit relativ hohen Bodenwiderständen liegen (Fall 3b).

Bei gleichen Erdbodenverhältnisse ($k =$ konstant) folgen die bekannten Angaben zu den Fehlstellenflächen oder -radien (Fall 2a, b). Diese beiden Fälle sind allein bisher erörtert worden und übersehen den gewaltigen Einfluß, den die Geometrieform der Fehlstellen haben kann. Dieser allgemeine Fall über die Auswirkung der charakteristischen Länge L (Fall 2) wird nachfolgend erörtert:

Bild 1 zeigt die Abhängigkeit der charakteristischen Länge von der Kreisunsymmetrie der Fehlsteller. Ganz allgemein ist die charakteristische Länge nur der Wurzel der Fläche proportional und nimmt mit zunehmender Unsymmetrie drastisch ab, was an den Beispielen für Erderformen aus Rotationsellipsoiden und Ellipsen gezeigt wird. Man muß sich hierbei verdeutlichen, daß die charakteristische Länge sich nicht ändert, wenn die Fläche um den Faktor 100 zunimmt und die Fehlstellenform dann nur aus einer Riefe besteht, deren Verhältnis von Länge zu Breite um $\beta = 1000$ liegt.

Bei üblichen Verletzungen mit einer Unsymmetrie bis etwa $\beta = 10$ sind die geometrischen Einflüsse noch nicht sehr groß. Sie verdienen aber Interesse, wenn die Verletzungen in Form von Rissen in der Umhüllung oder in Form von Riefen in der Umhüllung, z. B. bei Durchpressungen auftreten. Insofern verdient die im Bild 1 wiedergegebene Behandlung der Geometrieform ein besonderes Interesse in folgender Hinsicht: Man kann die Anforderungen an eine Umhüllung für Durchpreßprohe so formulieren, daß bei einer unvermeidbaren mechanischen Überbelastung keine Abschälungen, sondern nur Riefen entstehen dürfen.

Bei der Überwachung mittels Meßproben kann die Probenfläche deutlich kleiner sein als die Fläche von riefenförmigen Verletzungen.

weitere Einzelheiten in
3R intern. 34 (1995)
H. 4; S. 164-169

Das Einschaltpotential ist die Summe aus dem wahren Potential U_i und dem Ohmschen Spannungsabfall $I_i R_i$:

$$U_{ein} = U_i + I_i R_i \quad (1)$$

Umformen und Summieren der Einzelströme zum Gesamtstrom I_{ges} führt zu

$$U_{ein} = \frac{I_{ges} + \sum \frac{U_i}{R_i}}{\sum \frac{1}{R_i}} \quad (2)$$

und nach dem Ausschalten ($I_{ges} = 0$) zum Ausschaltpotential:

$$U_{aus} = \frac{\sum \frac{U_i}{R_i}}{\sum \frac{1}{R_i}} \quad (3)$$

Bei Vorliegen von mehr als einer Fehlstelle ist das Ausschaltpotential immer nur ein Mittelwert der verschiedenen wahren Potentiale, wobei der Ausbreitungswiderstand wichtet. Somit ist es im Grundsatz nicht möglich, das wahre Potential für den ungünstigsten Bereich zu finden.

Tabelle 1

Theoretische Grundlagen der Vergleichsmessung mit externen Meßproben

Für eine polarisierte Stelle werden folgende Daten angenommen: U_R = Ruhepotential, R = Ausbreitungswiderstand, S = Fläche, r_p = Polarisationswiderstand, I/J = kathodischer Strom/Stromdichte. Das Einschaltpotential enthält einen Ohmschen Widerstand ($I R$) und die Polarisation ($J r_p$):

$$U_{ein} = U_R + I R + J r_p = U_R + I \left(R + \frac{r_p}{S} \right)$$

Das IR-freie Potential $U_0 = U_R + J r_p$ folgt zu:

$$U_0 = U_R + \frac{U_{ein} - U_R}{1 + \frac{L}{k}}$$

dabei bedeuten:

charakteristische Länge: $L = S \left(\frac{R}{\rho} \right)$,

Polarisationsparameter: $k = \frac{r_p}{\rho}$,

ρ ist der spezifische Erdbodenwiderstand. Eine wesentliche Kenngröße ist die

Wagner-Zahl: $W = \frac{k}{L}$.

Mit zunehmender Wagner-Zahl nimmt die Polarisierbarkeit zu. Ist für eine Meßprobe mit W^* das Schutzpotentialkriterium erfüllt, haben alle Fehlstellen mit $W > W^*$ kathodischen Schutz!

Tabelle 2

Schutzkriterien für die Anwendung von Meßproben

Fall Nr.	Bedingungen	Schutzkriterium
1	allgemein	$W > W^*$
2	$k = \text{konstant}$	$L < L^*$
2a	$k = \text{konstant, gleiche Fehlstellengeometrie}$	$S < S^*$
2b	$k = \text{konstant, Kreisflächen}$	$d < d^*$
3	$L = \text{konstant}$	$k > k^*$
3a	$L = \text{konstant, gleicher Bodenwiderstand}$	$r_p > r_p^*$
3b	$L = \text{konstant, gleiche Polarisierbarkeit}$	$\rho < \rho^*$

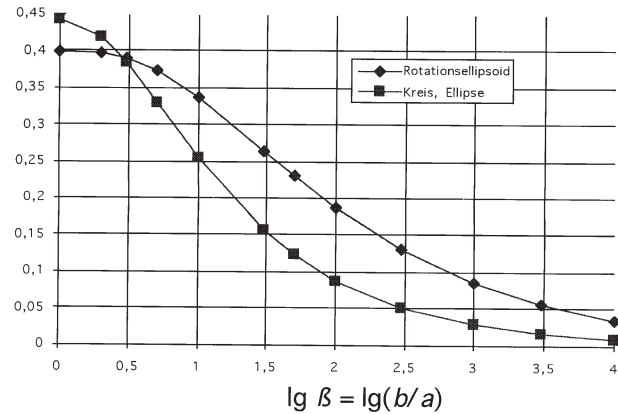
Die Daten der Meßproben sind mit * versehen. Das Schutzkriterium vergleicht die Daten der Fehlstelle mit denen der Meßprobe, die so bemessen sein soll, daß sie im Vergleich zu den Fehlstellen am geringsten polarisiert wird.

Tabelle 3

Einfluß der Kreisunsymmetrie auf die charakteristische Länge einer Meßprobe oder einer Fehlstelle

$$L = F S \quad F = R/\rho$$

L/\sqrt{S} (charakteristische Länge / Wurzel der Fläche)



Charakteristische Längen L von Kreis/Ellipse und Rotationsellipsoide im Halbraum mit der größeren Achse $2b$.

Bild 1

Datenfernübertragung für den kathodischen Korrosionsschutz mit zusätzlicher, kabelloser Anbindung externer Meßstellen.

Fachreferat, gehalten von Herrn Steffel auf der Jahrestagung des Fachverbandes, Hamburg 1994

Allgemeine Beschreibung

Die Fernüberwachung des kathodischen Korrosionsschutzes konnte bisher nur da eingesetzt werden, wo neben der Meßeinrichtung auch eine Anbindung an das Fernwirsystem vorhanden war. Mit dem Einsatz der kabellosen Datenfernübertragung ist es möglich, zusätzlich Meßstellen zu überwachen, die bisher nicht in das Fernwirsystem eingebunden werden konnten.

Die Kombination der beiden Überwachungsverfahren ermöglicht es, nahezu jede wichtige Meßstelle zu überwachen und die Meßdaten in die Leitzentrale zu übertragen.

Beschreibung RDS 2000

Das im folgenden beschriebene Rohrleitungs-Datenfernübertragungssystem (RDS) vereinfacht und automatisiert die Fernüberwachung in allen Punkten. Das System nutzt in einfachster Weise die Rohrleitung zur Datenübertragung. Der durch die Rohrleitung fließende Schutzstrom wird zur Übertragung der Daten herangezogen. Da der Schutzstrom von der Summe der Fehlstellen in der Isolierung abhängig ist, kann der Schutzstrom durch kurzzeitiges Zuschalten einer künstlichen Fehlstelle erhöht werden.

Diese Schutzstromerhöhung wird zur Datenübertragung genutzt. Die gemessenen Daten werden bitweise durch Verbinden der Rohrleitung über ein Relais mit einer künstlichen Fehlstelle übertragen.

Diese kurzzeitige, künstliche Schutzstromerhöhung (1 Bit = 250 ms) kann nun an der Einspeisung oder jeder Rohr-

strommeßstelle zwischen dem Sender und der Einspeisung gemessen werden. Die zur Datenübertragung notwendige Schutzstromerhöhung ist vom Isolationszustand der Rohrleitung abhängig. Bei neuen PE-isolierten Leitungen ist eine Schutzstromerhöhung von 10 - 30 mA für eine sichere Datenübertragung ausreichend.

Gleichrichter mit Empfänger

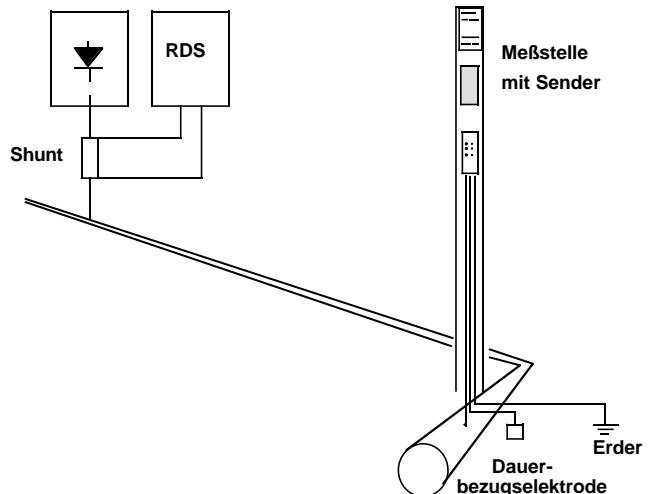


Abb. 1: Anordnung von Sender und Empfänger

Um auch bei hochspannungs- oder streustrombeeinflussten Leitungen eine sichere Datenübertragung zu gewährleisten, wurde auf die Filterung sehr großer Wert gelegt. Da die Datenübertragung im Normalfall im 250ms Takt erfolgt, kann mit einer Filtergrenzfrequenz von 10Hz und einer Dämpfung von > 60dB ein ausreichend sicherer Daten-Störabstand erreicht werden.

Da nur die vom Sender erzeugte Stromänderung ausgewertet wird, kann auch bei streustrombeeinflussten Leitungen und richtiger Platzierung des Empfängers eine sichere Datenübertragung gewährleistet werden.

Sender und Empfänger sind mit einer DCF 77 Funkuhr ausgerüstet. Jedem Sender wird ein definiertes Zeitfenster zugeordnet. Durch die absolute Synchronität von Sender und Empfänger können die einzelnen Datenbits sicher erkannt werden. Um die Datenübertragungssicherheit zu erhöhen, wird jeder Meßwert dreimal nacheinander übertragen.

Ein kompletter Datenübertragungszyklus wird im Empfänger zwischengespeichert. So kann durch Übereinanderlegen der drei nacheinander gesendeten Meßwerte ein bitweiser Vergleich erfolgen und eine sichere Auswertung ermöglicht werden.

Die Zuordnung der empfangenen Meßwerte wird durch das dem Sender zugeordnete Zeitfenster auf einfachste Weise möglich. Eine zusätzliche Übertragung der Meßstellenadresse ist somit nicht notwendig.

Der Sender kann individuell parametrisiert werden. Es lassen sich beliebige Zeitfenster für die einzelnen Messungen vorgeben. Da der Empfänger den Schutzstrom unterbrechen kann, ist es möglich, in einem definierten Zeitfenster Ausschaltpotentialmessungen durchzuführen.

Beispiel Adresserkennung im Empfänger

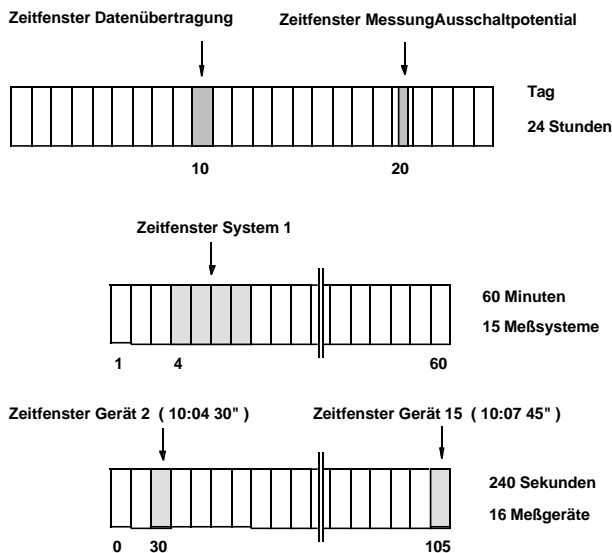


Abb. 2 Beispiel Zeitfenster

In Abb. 2 ist ein Beispiel für einen möglichen Zeitablauf aufgezeigt. In der Stunde 20 ist ein Zeitfenster für eine Messung des Ausschaltpotentials vorgesehen. Die Aufteilung der einzelnen Systeme und Meßstellen wird in den Zeilen 2 und 3 in Abb. 2 deutlich gemacht.

Fortsetzung in der nächsten Ausgabe

Impressum: Die Mitteilungen des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. werden vom Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V., Sitz Esslingen a. N., Postfach 60 50, 73717 Esslingen, Telefon (07 11) 91 99 01-0, Telefax (07 11) 91 99 01-11 herausgegeben und erscheinen vierteljährlich. Der Bezugspreis ist durch den Mitgliedsbeitrag abgegolten. Für den Inhalt verantwortlich: Hans J. Spieth, Postfach 60 50, 73734 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.

Wasserwiderstand deutlich verringert

Elektromagnetische Kräfte senken Energiekosten in der Schifffahrt.

Der Wasserwiderstand in der Schifffahrt kann nach Untersuchungen an der Princeton Universität (Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Princeton, New Jersey 08544) durch elektromagnetische Kräfte um bis zu 90 Prozent verringert werden. Damit können beträchtliche Energieeinsparungen bei Schiffsantrieben, ebenso aber auch in nahezu allen hydrodynamisch arbeitenden Geräten und Anlagen, wie Rohrleitungen, Wärmetauschern, Ventilen oder Pumpen, erzielt werden.

Um das zu erreichen, muß direkt an den Oberflächen ein elektromagnetisches Feld aufgebaut werden, das senkrecht von der Oberfläche ausgeht. Es erzeugt dabei sogenannte Lorentz-Kräfte, die dafür sorgen, daß die Grenzschichten von der Oberfläche quasi „weggeschoben“ werden, die für die Entstehung des Oberflächenwiderstands verantwortlich sind. Diese Kräfte verhindern dann den Aufbau von Grenzschichten und die damit einhergehenden Wirbelbildungen, die für den Wasserwiderstand verantwortlich sind.

Experimente zeigten, daß schon recht geringe Magnetfelder von etwa 500 Gauß bei rund 20 Milliampere pro Quadratzentimeter fast 90 Prozent des Wasserwiderstands beseitigen können. Zum Aufbau der Magnetfelder ist es allerdings erforderlich, die Oberflächen, einen Schiffsrumpf zum Beispiel, mit zahlreichen Elektroden auszustatten.

Das aufgebaute elektromagnetische Feld kann auf der anderen Seite auch dazu benutzt werden, einen relativ großen Widerstand aufzubauen. Es kann also auch zum Abbremsen eines Schiffes eingesetzt werden. Das Verfahren funktioniert allerdings nur in elektrisch leitfähigen Flüssigkeiten. Es versagt in Luft, so daß das Prinzip nicht in der Flugzeugkonstruktion einsetzbar ist.

aus „Blick durch die Wirtschaft“
4. Mai 1995

Zu guter Letzt

*Moralisten: Menschen, die sich dort kratzen,
wo es andere juckt.*