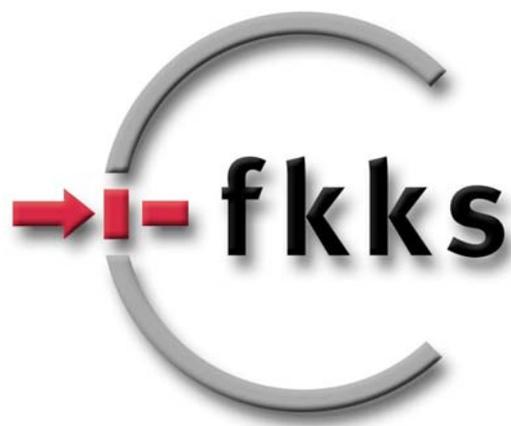


Die Mitteilungen

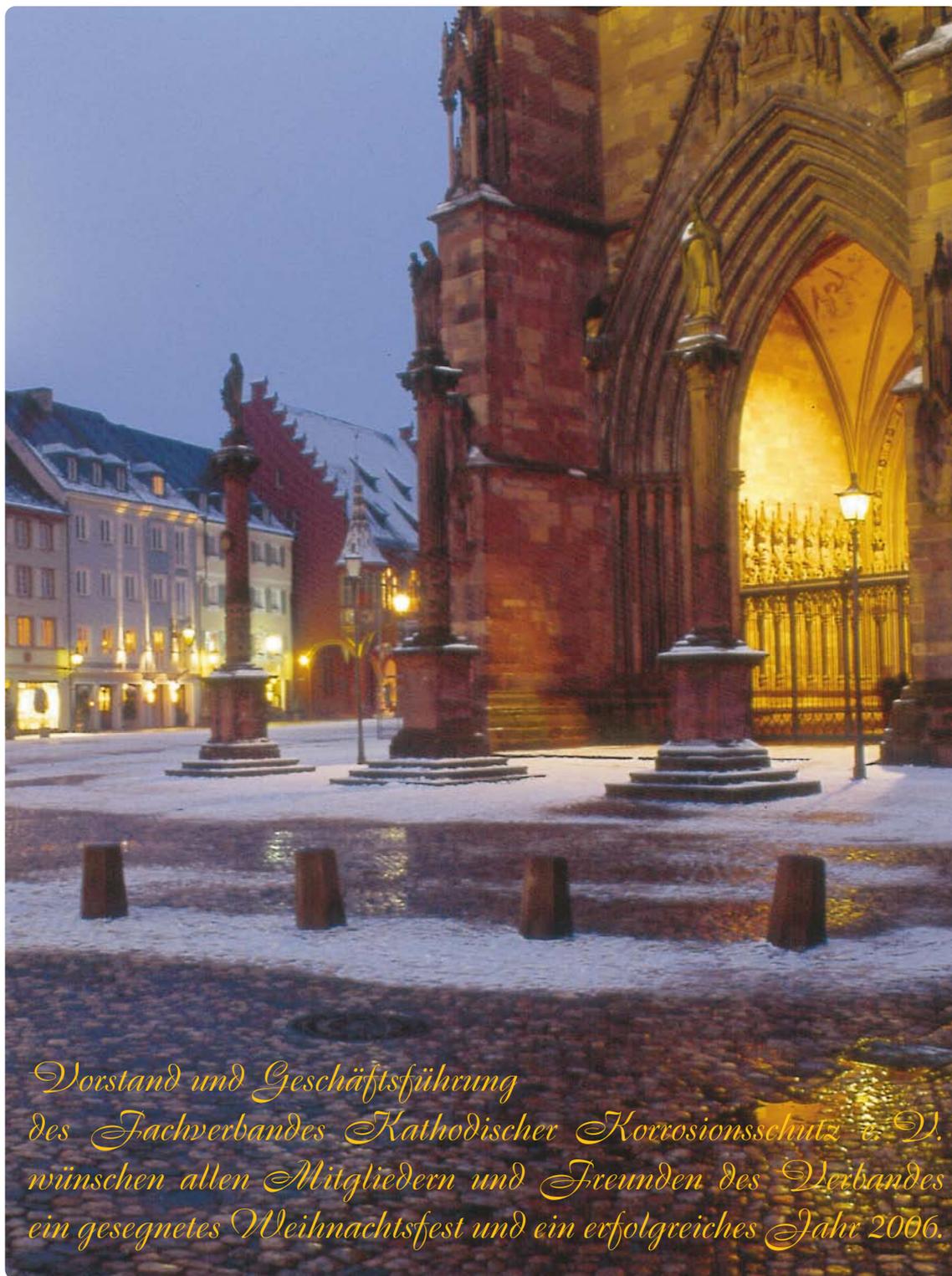
18. Jahrgang

Dezember 2005

Nr. 58



Impressum: Die Mitteilungen des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. werden vom Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V., Sitz Esslingen am Neckar, Postfach 6004, 73717 Esslingen, Telefon (07 11) 91 99 27 20, Telefax (07 11) 91 99 27 77 herausgegeben und erscheinen vierteljährlich zum Quartalsende. Der Bezugspreis ist durch den Mitgliedsbeitrag abgegolten. Für den Inhalt verantwortlich: Dipl.-Ing. Klaus Horras, Postfach 6004, 73717 Esslingen. Für namentlich gekennzeichnete Beiträge trägt der Verfasser die Verantwortung. Nachdruck mit Quellenangabe und Übersendung von zwei Belegexemplaren erwünscht.



Inhalt

Seite 1

Freiburg,
Münsterplatz

Seite 2

Abschätzung der elektrischen Eigenschaften und der Korrosionsgefährdung von kathodisch geschützten Stahlrohrleitungen in Mantelrohren aus Stahl

Fachreferat, gehalten von Dipl.-Phys. Dr. H.-G. Schöneich, E.ON Ruhrgas AG, Essen, auf der Jahreshauptversammlung 2005 des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. am 18. Februar 2005 in Halle/Saale. Teil 2

Seite 4

Kooperationsvereinbarung zwischen FKKS und DVGW unterzeichnet

*Vorstand und Geschäftsführung
des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V.
wünschen allen Mitgliedern und Freunden des Verbandes
ein gesegnetes Weihnachtsfest und ein erfolgreiches Jahr 2006.*

Abschätzung der elektrischen Eigenschaften und der Korrosionsgefährdung von kathodisch geschützten Stahlrohrleitungen in Mantelrohren aus Stahl

Fachreferat, gehalten von Dipl.-Phys. Dr. H.-G. Schöneich, E.ON Ruhrgas AG, Essen, auf der Jahreshauptversammlung 2005 des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e. V. am 18. Februar 2005 in Halle / Saale. Teil 2

2.4. Kathodischer Korrosionsschutz der Rohrleitung im Mantelrohr

In den folgenden Abschnitten werden zwei pragmatische Ansätze beschrieben, mit denen eine Bewertung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes einer Rohrleitung, die in einem Mantelrohr verlegt ist, möglich ist.

2.4.1 Widerstand-Vergleichsmethode

Bei diesem Verfahren wird zunächst der minimale Ausbreitungswiderstand, $R_{a,min}$, einer einzelnen kreisförmigen Umhüllungsfehlstelle an der Rohrleitung im Mantelrohr abgeschätzt, die bei der gegebenen Einstellung des KKS-Systems kathodisch geschützt werden kann. Dabei werden die elektrischen Daten der Mantelrohrkonstruktion nach Abschnitt 2.3 mitberücksichtigt. Der Vergleich des Wertes für $R_{a,min}$ mit dem für R_{mi} erlaubt es, die Wirksamkeit des KKS zu bewerten. Ganz analoge Verfahren wurden schon beschrieben für die Bewertung des KKS längerer, isoliert verlegter Rohrleitungsabschnitte, z. B. Leitungsabschnitte, die im HDD-Verfahren eingezogen wurden [2,6] und für die Fernüberwachung des KKS von sehr gut umhüllten Rohrleitungen [7,8].

Es wird eine Umhüllungsfehlstelle mit kreisförmiger Geometrie, Durchmesser d_{max} , betrachtet. Der Ausbreitungswiderstand $R_{a,min}$ ist (bei Vernachlässigung des Poren- und des Polarisationswiderstandes):

$$R_{a,min} = \frac{\rho}{2d_{max}} \quad (10)$$

und bei Anwendung des ohmschen Gesetzes:

$$R_{a,min} = \frac{4|U_d|}{|J_s|\pi d_{max}^2} \quad (11)$$

In Gl. (11) sind U_d die Treibspannung und die Schutzstromdichte J_s für den kathodischen Korrosionsschutz, die zum Erreichen des Schutzpotentials U_s , z. B.: entsprechend DIN EN 12954 [9], erforderlich ist.

Durch Kombination der Gl. (10) und (11) kann d_{max} eliminiert werden:

$$R_{a,min} = \frac{|J_s|\pi\rho^2}{16|U_d|} \quad (12)$$

$R_{a,min}$ kann wie folgt abgeschätzt werden:

- Sofern sie nicht direkt gemessen wird, sollte für die kathodische Schutzstromdichte ein „vernünftiger“ Wert von $J_s = 0,1 \text{ A/m}^2$ angenommen werden. Damit werden die stagnierenden Bedingungen für das im Ringraum stehende Grundwasser, zutreffend berücksichtigt.
- Sofern er nicht gemessen wird, sollte für den spezifischen Widerstand des Mediums (Grundwasser) im Ringraum ein Wert von $\rho = 30 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ angenommen werden.
- Zur Berechnung der Treibspannung U_d für eine Umhüllungsfehlstelle an der Rohrleitung im Mantelrohr

muss berücksichtigt werden, dass ein Anteil $\frac{R_{ma}}{R_{mi} + R_{ma}}$ der Spannung

$|U_{t,ein} - U_s|$ (dies ist die Treibspannung für den KKS einer Umhüllungsfehlstelle an der Rohrleitung außerhalb des Mantelrohres bei einer gegebenen Einstellung der Korrosionsschutzanlagen) über dem Ausbreitungswiderstand des Mantelrohres, R_{ma} (Bild 1) abfällt, d. h.

$$U_d = \frac{R_{ma}}{R_{mi} + R_{ma}} |U_{t,ein} - U_s|$$

Die Kombination mit Gl. (4) ergibt:

$$U_d = \frac{1}{A+1} |U_{t,ein} - U_s| \quad (13)$$

Anmerkung: Diese Betrachtungen beinhalten, dass die Polarisation der Umhüllungsfehlstellen auf dem Mantelrohr vernachlässigbar ist, d. h. $U_{ma} \approx U_{mi}$ (siehe Bild 1). Wenn eine Polarisation besteht, muss $|U_{t,ein} - U_s|$ (in Gl. (13)) um den Betrag $|U_{ma} - U_{mi}|$ vermindert werden.

In Bild 3 ist der minimal zulässige Ausbreitungswiderstand $R_{a,min}$ für verschiedene Werte der Parameter J_s und ρ über die Treibspannung $|U_d|$ aufgetragen (entsprechend Gl. (12)).

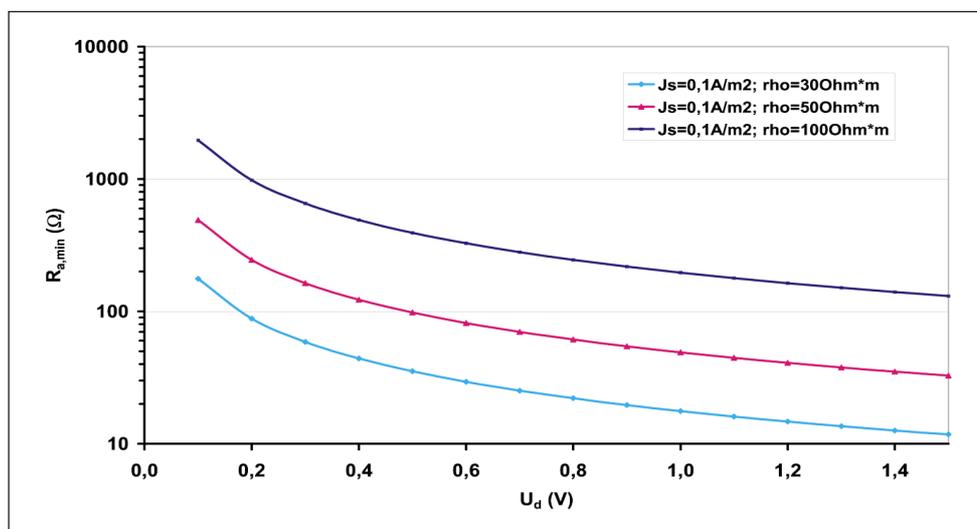
Mit einer üblichen Treibspannung $|U_d| \approx 0,5 \text{ V}$ kann demnach bei einem spezifischen Widerstand des Mediums im Ringraum von $30 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ eine kreisrunde Fehlstelle mit einem Ausbreitungswiderstand von etwa 40 Ohm noch kathodisch geschützt werden (dies entspricht einem Fehlstellendurchmesser von etwa 40 cm).

Der Vergleich von $R_{a,min}$ mit R_{mi} (aus Gl. (6) oder (7)) kann ergeben:

- $R_{mi} \geq R_{a,min}$

Dieses Ergebnis bedeutet, dass die Umhüllungsfehlstellen an der Rohrleitung innerhalb des Mantelrohres wirksam kathodisch geschützt sind. Dabei ist die Voraussetzung zu berücksichtigen, dass $R_{a,min}$ bei Annahme vernünftiger Werte für den spezifischen Widerstand des Mediums im Ringraum des Mantelrohres und für die Schutzstromdichte J_s , die für das Erreichen des Schutzpotentials U_s erforderlich ist, zutreffend abgeschätzt wurde.

Bild 3: Minimaler Ausbreitungswiderstand (nach Gl.12) einer kreisförmigen Umhüllungsfehlstelle, die bei verschiedenen Bedingungen noch kathodisch geschützt werden kann; $|U_d|$ = Treibspannung für den KKS, J_s = Schutzstromdichte für das Erreichen des Schutzpotentials $U_s = -0,95 \text{ V}_{\text{Cu/CuSO}_4}$, ρ = spezifischer Bodenwiderstand.



- $R_{mi} < R_{a,min}$
In diesem Fall sollte die Wirksamkeit des kathodischen Schutzes für Umhüllungsfehlstellen an der Rohrleitung im Mantelrohr als fraglich bewertet werden, weil zunächst davon ausgegangen werden muss, dass eine einzelne kreisförmige Umhüllungsfehlstelle vorhanden ist, deren Ausbreitungswiderstand kleiner ist als $R_{a,min}$, die dann nicht kathodisch geschützt werden kann. Mit den folgenden Hinweisen (deren Gültigkeit in jedem Einzelfall überprüft werden muss) kann diese Situation detaillierter bewertet werden:
- Ggf. kann angenommen werden, dass R_{mi} nicht von einer einzelnen Umhüllungsfehlstelle hervorgerufen wird, sondern von mehreren unterschiedlich großen Umhüllungsfehlstellen. Wenn eine gegenseitige Beeinflussung von benachbarten Umhüllungsfehlstellen vernachlässigt werden kann (d. h. die Spannungstrichter überlappen sich nur geringfügig), gilt der kathodische Korrosionsschutz auch dann als nachgewiesen, wenn der Ausbreitungswiderstand jeder einzelnen Umhüllungsfehlstelle größer ist als $R_{a,min}$.
- Wenn der Abstand zwischen Mantelrohr und Rohrleitung klein ist, z. B. 100 mm oder weniger, kann angenommen werden, dass der Widerstand zwischen Mantelrohr und Rohrleitung, der einer einzelnen Umhüllungsfehlstelle der Rohrleitung (im Mantelrohr) zugeordnet wird, erheblich geringer ist als nach Gl.10 berechnet. Damit wird die für den kathodischen Schutz erforderliche Schutzstromdichte J_s (z. B. $0,1 A/m^2$) auch bei größeren Umhüllungsfehlstellen erreicht, die im Vergleich zu $R_{a,min}$ (nach Gl.12) einen kleineren Ausbreitungswiderstand $R_{a,min}^*$ aufweisen (siehe auch [3]).
- Häufig ist $U_{ma,ein}$ deutlich negativer als $U_{ma,aus}$ und zeigt damit eine mögliche Polarisation des Mantelrohres an, die die Treibspannung $|U_{ul}|$ für den kathodischen Korrosionsschutz vermindert (siehe Gl. 13).

2.4.2 Polarisation-Vergleichsmethode

Es ist im Allgemeinen nicht möglich, das IR-freie Potential einer einzelnen Umhüllungsfehlstelle an der Rohrlei-

tung im Mantelrohr zu direkt zu messen. Es ist ebenso nicht möglich das mittlere Potential aller Fehlstellen zu messen. Die Kriterien für die Korrosionsschutzpotentiale nach DIN EN 12954 sind demnach nicht anwendbar. Nach Bild 1 ist es jedoch möglich, die Differenz $U_t - U_{mi}$ zu berechnen und so die mittlere Polarisation der Umhüllungsfehlstellen auf der Rohrleitung mit Bezug auf das Potential an der Innenseite des Mantelrohres (hierfür wird i. d. R. das Ruhepotential angenommen) abzuschätzen. Damit kann ein Kriterium nach [10,11] angewendet werden, wonach wirksamer kathodischer Korrosionsschutz angenommen werden kann, wenn gilt: $U_t - U_{mi} \leq -0,1 V$, d. h. die Umhüllungsfehlstellen an der Rohrleitung im Mantelrohr sind um mindestens 100 mV gegenüber dem Ruhepotential kathodisch polarisiert. Wenn die KKS Anlagen kurzzeitig ausgeschaltet werden, kann für $U_t - U_{mi}$ mit dem Ersatzschaltbild aus Bild 1 geschrieben werden:

$$U_t - U_{mi} = \frac{U_{mi,t,aus}(R_{ma} + R_{mi} + R_z) - (U_f - U_{ma})R_{mi}}{R_{ma} + R_z} \quad (14)$$

Die erforderlichen Daten für die Auswertung der Gl. 14 können wie folgt erhalten werden:

- $U_{m/t,aus}$ wird nach Bild 1 gemessen
- U_f kann als $U_{t,aus}$ gemessen werden, wenn $R_z \ll R_{mi} + R_{ma}$
- U_{ma} kann mit Hilfe einer Intensivmessung [1] entlang des Mantelrohres gemessen werden
- R_{ma} , R_{mi} , R_z werden berechnet nach den Angaben aus Kapitel 2.3

3 Diskussion praktischer Beispiele

Im folgenden werden Ergebnisse von Messungen an Mantelrohr / Rohrleitungs-Bauwerken vorgestellt. Die Daten werden im Sinne der Angaben aus den Abschnitten 2.3 and 2.4 interpretiert.

3.1 Abschätzung der elektrischen Eigenschaften eines Mantelrohr / Rohrleitungs-Bauwerkes entsprechend Abschnitt 2.3

Die Messungen wurden durchgeführt an einem Mantelrohr einer Rohrleitung DN 800, Baujahr 1967, Wandstärke 13 mm, spez. Umhüllungswiderstand $20 k\Omega m^2$ (siehe Tab. 1). Mit diesen Daten gilt für die weiteren Betrachtungen ein Abschlusswiderstand $R_z = 0,32 \Omega$. Die Messungen wurden zum einen während des normalen Betriebszustandes

MK Nr.	Typ	$U_{t,ein}$ (mV)	$U_{t,aus}$ (mV)	$U_{ma,ein}$ (mV)	$U_{ma,aus}$ (mV)	$R_{m/t}$ (Ω)	Bemerkung	A	R_{mi} (Ω)	R_{ma} (Ω)
2	SP	-2300	-1150	-575	-560	6,3	Betriebszustand	0,01	459	6,1
2	SP	-2150	-1150	-1660	1080	2,6	4,7 zwischen Transport- und Mantelrohr	1,38	4,4	6,1
$R_z = 0,32 \Omega$										

durchgeführt. Bei einer zweiten Messung wurde zu Testzwecken ein $4,7 \Omega$ -Widerstand zwischen das Mantelrohr und das Transportrohr geschaltet.

$U_{t,ein}$, $U_{t,aus}$, $U_{ma,ein}$ und $U_{ma,aus}$ wurden mit einer Bezugs Elektrode gemessen, die etwa 70 m querab von der Rohrleitung aufgestellt war. Die unterschiedlichen Werte für das Ein- und Ausschaltpotential des Mantelrohres geben einen Hinweis auf den Schutzstrom, der wegen der Fehlstellen in der Umhüllung der Transportleitung (innerhalb des Mantelrohres) in das Mantelrohr eintritt.

Nach Gl. (4) wird der Faktor A, der das Verhältnis zwischen Ausbreitungswiderstand des Mantelrohres R_{ma} und dem Widerstand im Ringraum des Mantelrohres R_{mi} (siehe Bild 1) beschreibt, berechnet. Im Betriebszustand ist A sehr klein und weist damit darauf hin, dass der Zustand der Umhüllung der Rohrleitung innerhalb des Mantelrohres voraussichtlich relativ gut ist.

Nach Gl. (6) wird R_{mi} berechnet (mit $R_z = 0,32 \Omega$ als Abschlusswiderstand der Rohrleitung, s. o.). Das Ergebnis für R_{mi} ($= 459 \Omega$) unterstreicht den (für eine bitumenumhüllte Rohrleitung) relativ guten Zustand der Umhüllung für den Abschnitt innerhalb des Mantelrohres. Der Ausbreitungswiderstand des Mantelrohres R_{ma} beträgt nach Gl. (4) $6,1 \Omega$.

Bei der zweiten Messung wurde ein $4,7 \Omega$ Testwiderstand an der Messstelle zwischen das Mantelrohr und die Transportleitung geschaltet. Erwartungsgemäß ändern sich Ein- und Ausschaltpotential der Rohrleitung kaum. Ein- und Ausschaltpotential des Mantelrohres sind im Vergleich zur ersten Messung deutlich negativer und weisen auf den in das Mantelrohr eintretenden Strom hin, der nun über den Widerstand zur Rohrleitung fließt. Der Widerstand $R_{m/t}$ ist kleiner als bei der ersten Messung. Die Auswertung der Daten erfolgt wieder mit den Gl. (4) und (6). Das Ergebnis für R_{mi} entspricht ziemlich genau dem Wert des Testwiderstandes; womit die Gültigkeit der Berechnungsalgorithmen unterstrichen wird. Für den Ausbreitungswiderstand des Mantelrohres ergibt sich (erwartungsgemäß) ein mit der ersten Messung vergleichbarer Wert.

Tab. 1: Messergebnisse von einem Mantelrohr/ Rohrleitungs-Bauwerk. $R_{m/t}$ wurde mit einem Erdungsmessgerät gemessen; die Werte für A, R_{mi} und R_{ma} wurden jeweils anhand der Gleichungen (4), (6) und (4) berechnet.

Formular für Mantelrohrbewertung
 Bewertung des kathodischen Schutzes für Fehlstellen an der Transportleitung
 im Mantelrohr

Widerstandsvergleich

$R_{mi} \geq R_{a,min}$ KKS o.k.
 $R_{mi} < R_{a,min}$ KKS fraglich

Bitte eingeben

Schutzpotential: -950 mV
 spez. Umhüll.wid.: 27 kΩm² => Z= 0,29 Ω
 Nennweite: 1050 mm
 Wandstärke: 12 mm
 ρ_{Stahl}: 2,10E-07 Ωm

Nr.	Typ	km	Text	Transportleitung:		Mantelrohr		R _{mt} Ω	R _e Ω	J _s A/m ²	ρ Ωm	A	U _d mV	R _{a,min} Ω	R _{mi} Ω	R _{ma} Ω	KKS
				U _{t,ein} mV	U _{t,aus} mV	U _{ma,ein} mV	U _{ma,aus} mV										
22	SP	18,730		-1080	-1080	420	-350	0,8	0,15	0,1	30	0,11	-801	22	47	5,2	o.k.
37	SP	34,380		-1510	-1080	-1370	-1050	0,8	0,15	0,1	30	2,91	-143	123	1,1	3,1	fraglich

Tabelle 2: Ergebnisse von KKS-Überwachungsmessungen an zwei Mantelrohrmessstellen und Auswertung der Daten nach der Widerstandsvergleichsmethode

3.2 Bewertung der Wirksamkeit des kathodischen Schutzes mit der Widerstand-Vergleichsmethode (Abschnitt 2.4.1)

Tabelle 2 enthält die Ergebnisse von KKS-Überwachungsmessungen an zwei Mantelrohrmessstellen einer Rohrleitung (DN 1050, Baujahr 1972). Die Daten werden nach den Angaben in den Abschnitten 2.3 und 2.4 ausgewertet. Dabei wurden „vernünftige Annahmen“ getroffen für den spezifischen Widerstand des Mediums im Ringraum (30 Ωm) und für die KKS-Schutzstromdichte (0,1 A/m²), die zum Erreichen des Schutzpotentials U_s = -950 mV erforderlich ist. Die folgenden Gleichungen wurden bei der Auswertung der Daten verwendet: Gl. (4) für das Verhältnis A, Gl. (13) für die KKS-Treibspannung U_d, Gl. (12) für R_{a,min} und Gl. (6) für R_{mi}. Die Wirksamkeit des kathodischen Schutzes wird durch den Vergleich von R_{mi} mit R_{a,min} bewertet (siehe Abschnitt 2.4.1). Der kathodische Schutz ist wirksam für die Transportleitung in dem Mantelrohr bei Messstelle 22. Mit R_{mi}=47 Ω kann hier auf einen ausreichenden Zustand der Umhüllung geschlossen werden. Die Wirksamkeit des KKS ist jedoch fraglich in dem Mantelrohr bei Mess-

stelle 37. Der niedrige Wert von R_{mi} = 1,1 Ω für den Widerstand im Ringraum weist auf größere Schäden in der Umhüllung der Transportleitung hin, die ggf. nur geringen Abstand (z. B. 50 mm) zur Innfläche des Mantelrohres aufweisen. Das Mitschalten des Mantelrohres und der relativ geringe Ausbreitungswiderstand (R_{ma} = 3,1 Ω) weisen auf eine erhebliche Stromaufnahme hin (überschlägig abgeschätzt liegt diese bei I = (U_{t,ein} - U_s) / (R_{ma} + R_{mi}) > 100 mA). Wegen des Spannungsabfalls an R_{ma} steht nur noch eine relativ geringe Treibspannung |U_d| von 143 mV für den kathodischen Schutz der Fehlstellen an der Transportleitung innerhalb des Mantelrohres zur Verfügung. Eine kürzlich durchgeführte intelligente Molchung dieser Leitung hat jedoch keine Hinweise auf Wanddickenminderungen an der Transportleitung innerhalb des Mantelrohres ergeben. Dieser Umstand weist auf die „Sicherheitsreserven“ hin, die in der vorgestellten Betrachtungsweise enthalten sind. (Beispielsweise kann – wie zuvor schon erläutert – bei geringem Abstand zwischen dem Mantelrohr und einer Fehlstelle sowie bei gegebener Treibspannung |U_d| eine erheblich größere Stahlfläche kathodisch geschützt werden, als es durch Gl. (12) bei der

Bestimmung von R_{a,min} festgelegt wird. Die Situation wird auch durch den Umstand „verbessert“, dass die Fehlstellen üblicherweise nicht kreisförmig sind. Weiterhin spielt eine Rolle, dass in der Regel nicht eine große sondern mehrere kleinere Fehlstellen den Umhüllungszustand der Transportleitung charakterisieren)

Zusammenfassung

Es wird ein vereinfachtes elektrisches Ersatzschaltbild für ein Mantelrohr / Rohrleitungs-Bauwerk beschrieben. Die elektrischen Eigenschaften der Umhüllungsfehlstellen an der Rohrleitung im Mantelrohr und außerhalb des Mantelrohres sowie am Mantelrohr selbst werden dabei berücksichtigt. Mit Bezug auf dieses Modell und die Daten von KKS-Überwachungsmessungen können die folgenden Ergebnisse und bewertenden Aussagen mit vernünftiger Genauigkeit ermittelt und getroffen werden:

- Abschätzung des Ausbreitungswiderstand der Fehlstellen an der Transportleitung innerhalb des Mantelrohres (dieser Wert entspricht dem Widerstand im Ringraum)
- Ausbreitungswiderstand der Fehlstellen am Mantelrohr (dieser Wert entspricht dem Ausbreitungswiderstand des Mantelrohres)
- Pragmatische Bewertung der Wirksamkeit des kathodischen Schutzes für die Fehlstellen in der Umhüllung der Transportleitung innerhalb des Mantelrohres

Anmerkung

Teile des Inhalts dieser Arbeit werden zur Zeit in einer Arbeitsgruppe zur Überarbeitung der AfK-Empfehlung Nr.1 diskutiert. Der Autor dankt Herrn Deiss und den Mitgliedern dieser Arbeitsgruppe für wertvolle Hinweise.

von rechts:
 Dipl.-Phys. Jannemann,
 Leiter der DVGW
 Zertifizierungsstelle,
 Dipl.-Ing. Dübbel,
 DVGW Zertifizierungs-
 stelle, Dr.Thielen,
 Hauptgeschäftsführer
 des DVGW e. V.,
 Ing. Wachsmann,
 1. Vorsitzender
 des FKKS e. V.
 und Herr Köpf,
 Geschäftsführer
 des FKKS e. V.,
 nach der Vertrags-
 unterzeichnung

FKKS e. V. und DVGW e. V. unterzeichnen Kooperationsvereinbarung



Am Mittwoch, den 8. Dezember 2005, haben Vertreter des FKKS und DVGW in Bonn die Kooperationsvereinbarung über die gemeinsame Anerkennung der neuen Prüfrichtlinie auf Grundlage des Merkblattes GW11 unterzeichnet. Mitgliedsunternehmen des FKKS können sich am 26. Januar 2006 im Rahmen einer Einführungsveranstaltung zur neuen Qualifikationsgrundlage in Wuppertal informieren.