

# MITTEILUNGEN DES FACHVERBANDES KATHODISCHER KORROSIONSSCHUTZ E.V.

E 13001 F

Juni 1996

Nr. 20

## Kurzbericht zur Beurteilung der Wirksamkeit des KKS bei grabenlos verlegten Rohrabschnitten.

Fachreferat, gehalten von Dipl.-Ing. A. Baltés, Essen, auf der Jahrestagung des Fachverbandes, München 1995

1. Gemäß DIN 30 676 muß das Schutzpotentialkriterium an jedem Meßpunkt erfüllt sein.

Da die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes zweifellos die gesamte Leitung umfassen soll und nicht nur Teilbereiche in der Nähe der errichteten Meßstellen, kann es sich bei den Meßpunkten nur um solche Stellen handeln, an denen Umhüllungsfehlstellen vorliegen. Unter dem Schutzpotentialkriterium ist das Phasengrenzflächenpotential zu verstehen (d.h. das Potential ohne verfälschende ohmsche Spannungsabfälle).

2. Die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes nach DIN 30 676 muß durch Messungen, z.B. nach DIN 50 925 festgestellt werden, und zwar

2.1 durch Ausschaltpotentialmessungen (nur bei IR-anteilen, die durch den Schutzstrom hervorgerufen werden und bei geringer Änderung des IR-freien Potentials durch Ausgleichströme).

2.2 durch Intensivmessungen (wenn andere Spannungsabfälle als die durch den Schutzstrom verursachten im Boden vorhanden sind oder Ausgleichströme zu Spannungsabfällen führen, die nicht mehr als unwesentlich angesehen werden).

2.3 durch Vergleichsmessungen (für Lagerbehälter oder Rohrleitungsabschnitte zur Ermittlung der Polarisierbarkeit. Vergleichsmessungsdurchführung nach AfK-Empfehlung Nr. 10E).

3. Probleme des kathodischen Korrosionsschutzes bei Dükern, die nach dem Horizontalbohrverfahren eingebracht wurden.

In Abhängigkeit von den geologischen Bedingungen des zu durchquerenden Untergrundes treten beim Einziehen des Dükers in das Bohrloch an mit herkömmlichen organischen Werkstoffen (Polyethylen) umhüllten Rohren mehr oder weniger ausgeprägte Zerstörungen sowohl in der Werksumhüllung als auch in den Baustellennachumhüllungen auf. Der an solchen Umhüllungsfehlstellen dem umgebenden Medium ausgesetzte Rohrleitungswerkstoff wird üblicherweise durch Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes vor Korrosion geschützt.

Jedoch bereitet der kathodische Korrosionsschutz an solchen Dükern aus zwei Gründen Schwierigkeiten:

3.1 Erstens kann der Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes, der normalerweise an jeder Umhüllungsfehlstelle zu führen ist, nicht exakt erbracht werden, da das dafür verwendete Intensivmeßverfahren wegen der hier vorhandenen sehr unterschiedlichen Erdbodenüberdeckung nicht oder nur eingeschränkt anwendbar ist.

3.2 Zweitens können Umhüllungsfehlstellen mit dem zur Bohrspülung verwendeten Bentonit in Kontakt stehen und

benachbarte Fehlstellen mit dem umgebenden Erdreich. Da Bentonit gegenüber üblichen Böden einen um mindestens eine Größenordnung geringeren Bodenwiderstand aufweist, ist zu erwarten, daß die Fehlstellen in den unterschiedlichen Kontaktmedien unterschiedlich polarisiert werden. Bild 1 soll das verdeutlichen:

Es zeigt, daß eine Fehlstelle gleicher Größe im hochohmigen Boden wesentlich weniger polarisiert wird als im niederohmigen. Im vorliegenden Beispiel wird an der ersten Fehlstelle mit  $-0,72 \text{ V/CuSO}_4$  kein vollständiger Korrosionsschutz erreicht, während die im gut leitenden Boden ein Potential deutlich negativer als das Schutzpotentialkriterium aufweist. Das Beispiel in Bild 1 verdeutlicht außerdem, daß eine unterschiedliche Fehlstellengröße im Vergleich zum Bodenwiderstand einen deutlich geringeren Einfluß auf die Polarisierbarkeit der Fehlstelle ausübt. Der Ausbreitungs-widerstand der Fehlstellen im Bentonit wird außerdem durch die Sammelwirkung des die Rohrleitung umgebenden Bentonitzylinders herabgesetzt, so daß die Schutzstromverteilung weiter zu ungunsten der vom Erdboden umgebenen Fehlstellen verändert wird (Bild 2).

Aus den genannten Gründen kann die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes an den betrachteten Dükern nur mittels Vergleichsmessungen abgeschätzt und beurteilt werden.

Das Prinzip der Vergleichsmessungen besteht darin, daß eine Vergleichsprobe als zusätzliche Fehlstelle leitend mit der Rohrleitung verbunden und diese zur Vermeidung von Beeinflussungen möglichst weit von der Korrosionsschutzanlage in der Nähe des Schutzobjektes so installiert wird, daß ihr Potential mittels Dauerbezugselektrode überwacht werden kann. Unter Beachtung der oben erläuterten Einflußgrößen hat diese Vergleichsprobe die am Düker möglichen ungünstigen Bedingungen zu simulieren, d.h. sie ist im gegenüber Bentonit hochohmigen Erdboden zu verlegen und sollte die Flächenausdehnung der größten am Düker vorhandenen Fehlstelle aufweisen. Kann an dieser Vergleichsprobe ausreichender kathodischer Schutz erzielt werden, ist mit großer Sicherheit jede Fehlstelle in der Umhüllung des Dükers ebenfalls ausreichend geschützt.

Das Problem hierbei besteht in der Auswahl der richtigen Flächenausdehnung der Vergleichsprobe. Ist sie wesentlich größer als die größte im Erdboden befindliche Fehlstelle am Düker, kann nicht ausreichender Schutz vorgetäuscht werden, obwohl auch die ungünstigsten Stellen am Düker bereits Überschutz aufweisen. Das führt an den im Bentonit befindlichen Fehlstellen zu einer unnötig heftigen Wasserstoffentwicklung. Im umgekehrten Fall wird an der Vergleichsprobe ausreichender Schutz vorgetäuscht, während am Düker das Schutzpotential an den größeren Umhüllungsfehlstellen nicht erreicht wird.

Die Gesamtfläche der Fehlstellen kann mittels eines Einspeiseversuches am verlegten Dükler aus dessen Stromaufnahme abgeschätzt werden. Allerdings können je nach der zur Berechnung für das freiliegende Material zugrunde gelegten erforderlichen Schutzstromdichte sehr unterschiedliche Ergebnisse entstehen.

Aufschluß über die Zahl der am Dükler vorhandenen Fehlstellen ist bei begehbaren Rohrleitungen mittels aufwendiger Spannungsabfallmessungen im Rohrrinneren zu erhalten. Kreisrunde Fehlstellen sind hinsichtlich ihrer Stromaufnahme wesentlich ungünstiger als riefenförmige, so daß die Festlegung der richtigen Vergleichsprobengröße sehr schwierig ist. Bei nachweislich großen Beschädigungen der Umhüllung erscheint es daher zweckmäßig, als Flächenausdehnung für die Vergleichsproben die Fläche eines blanken Schweißnahtbereiches zu wählen, da die Möglichkeit besteht, daß an einem Hindernis die Schweißnahtnachumhüllung komplett abgeschoben wurde, während in der Werksumhüllung vorherrschend riefenförmige Schäden entstanden sein sollten.

Von Prof. Schwenk wird inzwischen vorgeschlagen, einen Grenzwert  $I^*$  für die Stromaufnahme von Dükern zu definieren. Für Stromaufnahmen des zu betrachtenden Dükers kleiner als dieser Grenzwert  $I^*$  können einheitliche Standard-Vergleichsproben eingesetzt werden. Außerdem kann auf das Heraustrennen des Dükers aus der Rohrleitung durch Einbau von Isolierstücken verzichtet werden. Ist die Stromaufnahme des Dükers größer als der Grenzwert  $I^*$ , muß die Abmessung der Vergleichsprobe für den konkreten Einzelfall abgeschätzt und der Dükler durch Isolierstücke elektrisch von der Rohrleitung abgetrennt werden. Der Grenzwert  $I^*$  ist derzeit noch nicht festgelegt. Er soll auf der Grundlage von weiteren Untersuchungen im Laufe des Jahres 1995 ermittelt werden.

Weitergehende Informationen zu Ausbreitungswiderständen, abhängig von der Form der Umhüllungsfehlstelle und zum Einsatz von Probeblechen, enthält der Vortrag von Herrn Prof. Schwenk.

4. Möglichkeiten zur Vermeidung von Umhüllungsschäden bei der Einbringung von Dükern nach dem Horizontalbohrverfahren

Die Schäden, die beim Einziehen von Dükern in Horizontalbohrungen an den Rohrumhüllungen aufgetreten sind und die Probleme, die der kathodische Korrosionsschutz derartiger Dükere bereitet, führten zu Überlegungen zur Vermeidung solcher Schäden.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß die für Rohrumhüllungen verwendeten organischen Werkstoffe hinsichtlich ihrer Verschleißfestigkeit und Härte nicht an die die Zerstörungen verursachenden Kiese und Gerölle anzupassen sind. Als ein Ausweg erscheint daher ein mehrschichtiger Aufbau der organischen Beschichtung auf dem Rohr dergestalt, daß auf einer Grundbeschichtung, die mit hoher Schäl- und Scherfestigkeit auf dem Rohrwerkstoff haftet, ein organischer oder mineralischer mechanischer Schutz aufgebracht wird. Dadurch sind zwar Beschädigungen der mechanischen Schutzschicht nicht völlig zu vermeiden, aber es soll erreicht werden, daß die Umhüllung nicht durchgängig bis auf den Rohrwerkstoff zerstört wird, sondern Werkstofftrennungen nur innerhalb des mechanischen Schutzes, maximal bis zur Grenzfläche Grundbeschichtung – mechanischer Schutz erfolgen. Beispiele für mögliche Umhüllungskombinationen zeigen die Bilder 3 und 4 für Werksumhüllungen bzw. für Baustellennachumhüllungen.

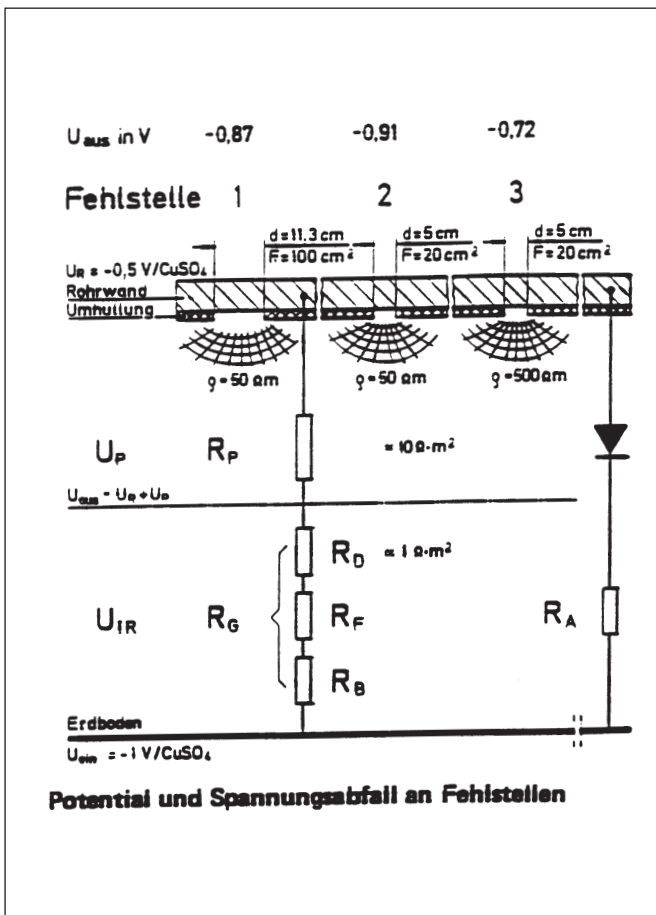


Bild 1

### Umhüllungen für Horizontal Drilling Werksumhüllungen

Korrosionsschutz Bei allen Materialien		
Material	Anforderungen	Sonderanforderungen
Pulverepoxyd /FBE)	DIN 30 671	Mindestschichtdicke: 0,5 mm
	Mechanischer Schutz	
Material	Anforderungen	Sonderanforderungen
Polyethylen	DIN 30 670 Sonderausführung (VS)	Mindestschichtdicke: 3,5 mm Schälfestigkeit: 200 N/cm Scherfestigkeit: n. festlegen Riefenanfälligkeit: n. festlegen
Polypropylen	DIN 30 678	Mindestschichtdicke: 3 mm Schälfestigkeit: 200 N/cm (70°C) Scherfestigkeit: n. festlegen Riefenanfälligkeit: n. festlegen
Polyethylen + Faserzementmörtel	DIN 30 670	Mindestschichtdicke: n. festlegen Schälfestigkeit: n. festlegen Scherfestigkeit: n. festlegen
Faserzementmörtel	Epoxidharzkleber	Mindestschichtdicke: n. festlegen Schälfestigkeit: n. festlegen Scherfestigkeit: n. festlegen

Bild 3

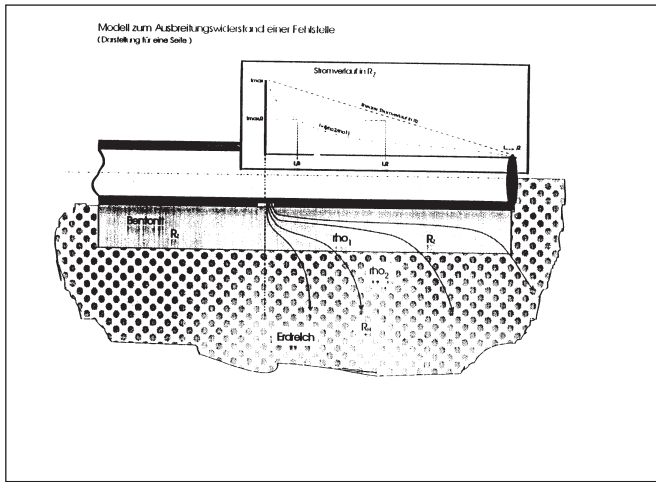


Bild 2

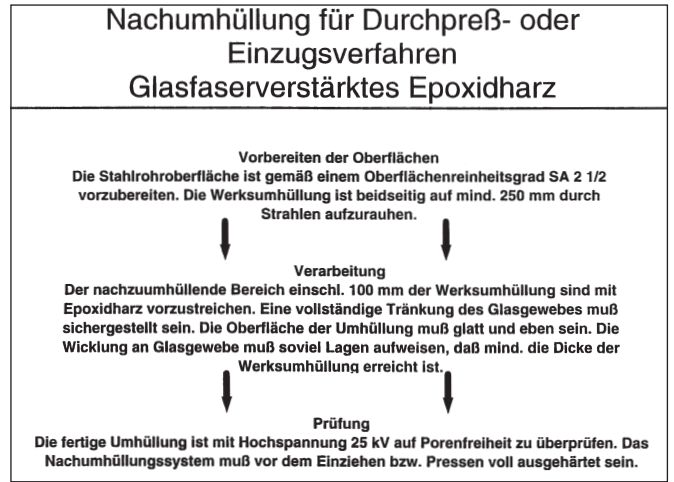


Bild 4

## Schutzpotential und Schutzstromdichte beim kathodischen Korrosionsschutz Erfassung und Beurteilung in der Praxis

Fachreferat, gehalten von Herrn Dipl.-Ing. Horras auf der Jahrestagung des Fachverbandes, München 1995, 2. Folge

### 2. Schutzstromdichte

Eine weitere wichtige Größe zur Beurteilung eines kathodischen Schutzsystems ist die Schutzstromdichte. Unter Schutzstromdichte versteht man den Quotienten Schutzstrom/ geschützter Fläche. Während für Stromdichten bei metallenen Leitern die Dimension A/mm<sup>2</sup> üblich ist, wird bei Korrosionsschutzsystemen die Dimension mA/m<sup>2</sup> oder sogar µA/m<sup>2</sup> verwendet.

Bei nicht umhüllten Oberflächen in normalem Bodenelektrolyten wird mit erforderlichen Schutzstromdichten von 100 – 200 mA/m<sup>2</sup> gerechnet. Das bedeutet, daß bei einer DN 300-Rohrleitung mit 1 m<sup>2</sup>/m Rohrlänge 100 – 200 A für den Schutz von 1 km Pipeline erforderlich sind, was zu sehr kleinen Schutzweiten der Gleichrichter führt.

Durch die isolierende Umhüllung wird die freie zu schützende Oberfläche erheblich verkleinert. Bei einer Umhüllung mit 4 mm Bitumen werden Schutzstromdichten von 100 – 200 µA/m<sup>2</sup> erreicht. Hieraus errechnet sich der Strombedarf für 1 km DN 300-Rohr zu 0,1 – 0,2 A und die Reichweite einer Schutzanlage wird dadurch entsprechend vergrößert.

Bei PE-Umhüllungen reduziert sich die benötigte Schutzstromdichte nochmals um einige Zehnerpotenzen, sodaß Reichweiten von 50 – 100 km normalerweise erreicht werden. Die Reichweite einer Schutzanlage ist also abhängig von der Größe des Strombedarfs und außerdem von der Leitfähigkeit des Rohrmaterials. Zur Abschätzung läßt sich die Theorie einer Gleichstromleitung mit Längswiderstandsbelag und Ableitungsbelag heranziehen. Der Längswiderstandsbelag errechnet sich aus:

$$R'_l = 1000 \cdot \rho / A \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

mit

$\rho$  = spezifischer Widerstand des Rohrmaterials ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )

A = Querschnitt des Rohrmaterials ( $\text{mm}^2$ )

Der Ableitungsbelag ergibt sich zu:

$$G'_l = O' / r_u \text{ (1/km} \cdot \Omega)$$

mit

$O'$  = spezifische Oberfläche des Rohres ( $\text{m}^2/\text{km}$ )

$r_u$  = spezifische Durchgangswiderstand der Umhüllung ( $\Omega \cdot \text{m}^2$ )

$r_u$  errechnet sich aus:

$$r_u = 1000 \cdot (P_{aus} P_{ein}) / J \text{ (}\Omega \cdot \text{m}^2)$$

mit

$P_{aus}$  = Ausschaltpotential (mV)

$P_{ein}$  = Einschaltpotential (mV)

J = Schutzstromdichte ( $\mu\text{A}/\text{m}^2$ )

Bei Bitumenumhüllungen werden Schutzstromdichten von 50 – 500 µA/m<sup>2</sup> entsprechend Umhüllungswiderständen von 10000 – 1000  $\Omega \cdot \text{m}^2$  in der Praxis gefunden. Bei PE-Außenumhüllungen liegen die Schutzstromdichten zwischen 1 und 30 µA/m<sup>2</sup>, was Umhüllungswiderständen von 500.000 – 20.000  $\Omega \cdot \text{m}^2$  entspricht.

Die charakteristische Länge einer solchen Leitung errechnet sich dann zu:

$$l_{ch} = \sqrt{(1/R'_l \cdot G'_l)} \text{ (km)}$$

Sie sagt aus, in welcher Entfernung von der Schutzanlage der Potentialhub auf den 1/e-Teil des Hubes an der Speisestelle abgefallen ist. In erster Näherung kann gesagt werden, daß eine Schutzanlage eine Reichweite von etwa  $1,5 - 2 \cdot l_{ch}$  nach beiden Seiten erreicht.

Hierzu ein Zahlenbeispiel zur überschlägigen Berechnung der Abstände von Schutzanlagen.

Randbedingungen: Rohrleitung DN 300 mit Bitumen umhüllt

$$O' = 1000 \text{ (m}^2/\text{km)}$$

$$J = 100 \text{ (}\mu\text{A}/\text{m}^2)$$

$$R'_l = 0,03 \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

$$r_u = 5000 \text{ (}\Omega \cdot \text{km}^2)$$

$$G'_l = 1000/5000 = 0,2 \text{ (1}/\Omega \cdot \text{km)}$$

$$l_{ch} = \sqrt{(1/(0,03 \cdot 0,2))} = 12,9 \text{ (km)}$$

Das bedeutet, der Abstand der Schutzanlagen darf nicht größer als 20 – 25 km sein.

Bei dieser Rechnung wird eine mittlere Schutzstromdichte angenommen, die sich aus der vorhandenen Umhüllung ergibt.

In vielen Fällen ist es wünschenswert nicht die mittlere Schutzstromdichte über die gesamte Rohrlänge sondern über einzelnen Abschnitte zu kennen, um gezielte Aussagen über den Zustand der Außenumhüllung machen zu können. Hierzu sind Rohrstrom-Meßstellen nach Bild 5 erforderlich, die normalerweise in 5 km-Abständen auf der Rohrleitung angeordnet werden.

Eine bestimmte Länge des Rohres wird als Meßshunt benutzt, um den im Rohr fließenden Schutzstrom berechnen zu können. Wählt man den Abstand der Strommeßstrecke in Abhängigkeit vom Rohrwandquerschnitt so, daß sich ein Shuntwiderstand von  $1 \text{ m}\Omega$  ergibt, so wird die Messung und die Berechnung des im Rohr fließenden Längsstromes sehr einfach.  $1 \text{ mV}$  Spannungsfall entspricht einem Rohrstrom von  $1 \text{ A}$ ,  $1 \text{ }\mu\text{V}$  entspricht  $1 \text{ mA}$ .

Die hierzu abzugreifende Rohrlänge errechnet sich nach der Formel:

$$l = R \cdot A / \rho \text{ (m)}$$

mit

- $R$  gewünschter Rohrwiderstand  $1 \cdot 10^{-3} \text{ (}\Omega\text{)}$
- $A$  Rohrquerschnitt = mittlerer Umfang \* Wandstärke (mm)
- $\rho$  spezifischer Widerstand des Rohrmaterials  $0,166 \text{ (}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}\text{)}$
- $l$  Abstand der Spannungs-Meßanschlüsse (m)

Der Strom- und der Spannungsanschluß müssen in ca. 10 cm Entfernung achsial auf der Rohrleitung angeordnet werden, um Fehlmessungen zu vermeiden und um eine eindeutige Kontrolle der Meßanschlüsse zu ermöglichen.

Wegen der bei der Rohrherstellung zulässigen Toleranzen in der Wandstärke und im spezifischen Stahlwiderstand müssen die Rohrstrom-Meßstrecken geeicht werden. Hierzu wird eine 4-Punkt-Widerstandsmessung nach Bild 6 verwendet. Mit einer  $12 \text{ V}$  Gleichspannungsquelle wird ein Strom von

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.

einigen A über die außen liegenden Stromanschlüsse eingespeist und an den beiden Spannungsanschlüssen die durch den Stromfluß erzeugte Spannung ermittelt. Durch Division der ermittelten Spannung durch den fließenden Strom errechnet sich der Rohrwiderstand. Wird die Spannung in  $\mu\text{V}$  und der Strom in A erfaßt, so ergibt sich der Widerstand in  $\mu\Omega$ .

$$R = U / I \text{ (}\mu\Omega\text{)}$$

Vor Beginn einer Rohrstrommessung muß festgestellt werden, ob der eingespeiste Strom zu Erzielung einer ausreichenden Potentialabsenkung genügt. Deshalb sind die von allen Schutzanlagen gelieferten Ströme zu messen, Schaltuhren in die Schutzstromkreise einzubauen, die den Schutzstrom synchron periodisch ein- und ausschalten sowie die Potentiale an den Enden der Pipeline und ggf. in der Mitte zwischen den Schutzanlagen zu ermitteln. *Fortsetzung in Folge 21*

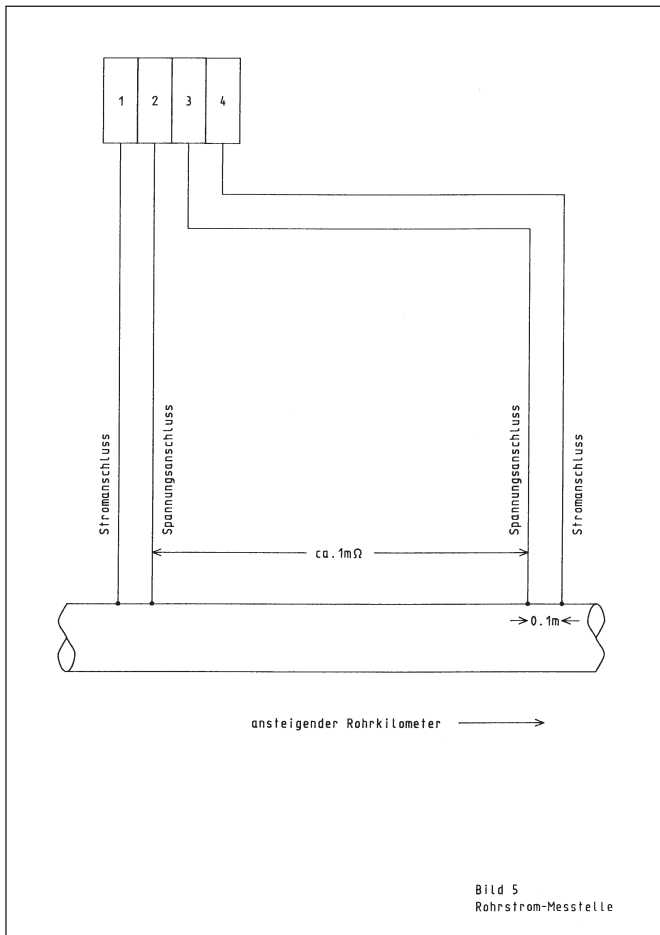


Bild 5  
Rohrstrom-Meßstelle

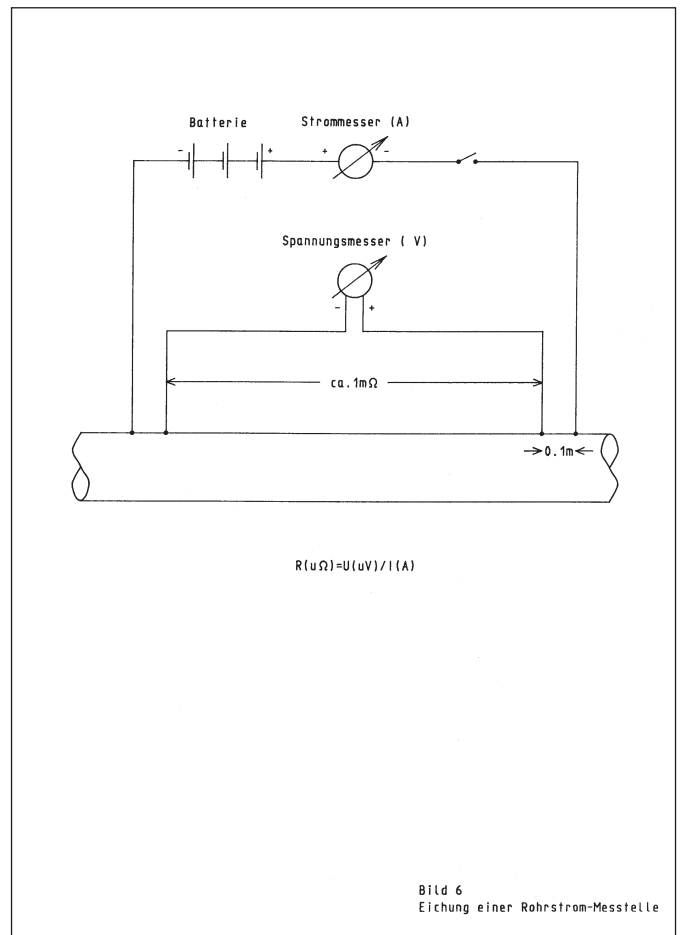


Bild 6  
Eichung einer Rohrstrom-Meßstelle