



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 728 895 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
06.12.2006 Patentblatt 2006/49

(51) Int Cl.:
C23F 13/04 ^(2006.01) **G01R 27/14** ^(2006.01)
G01R 27/18 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06006493.8**

(22) Anmeldetag: **29.03.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(71) Anmelder: **E.ON Ruhrgas AG**
45138 Essen (DE)

(72) Erfinder: **Ostrozniak, Karl**
45227 Essen (DE)

(74) Vertreter: **Harlacher, Mechthild**
Hutropstrasse 60
45138 Essen (DE)

(30) Priorität: **02.06.2005 DE 102005025824**

(54) **Ein Überwachungsverfahren zum Feststellen einer Annäherung eines leitfähigen Körpers an eine mit einem kathodischen Schutzstrom beaufschlagte Fluid-Transportpipeline**

(57) Um eine Annäherung eines leitfähigen Körpers an eine mit einem kathodischen Schutzstrom beaufschlagte Fluid-Transportpipeline (1) festzustellen, wird zu vorgegebenen Zeitpunkten an wenigstens zwei Messstellen (3) an der Fluid-Transportpipeline (1) jeweils eine für den an der Messstelle entlang der Fluid-Transportpipeline fließenden Schutzstrom repräsentativer Spannungsmesswert (U₁, U₂) erfasst. Für jeden vorgegebenen Zeitpunkt wird aus den Spannungsmesswerten (U₁, U₂) jeweils zweier beabstandeter Messstellen eine für die Differenz der an den Messstellen entlang der Pipeline fließenden Schutzströme repräsentativer Schutzstromdifferenzwert gebildet. Aus der zeitlichen Änderung der

für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Schutzstromdifferenzwerte wird dann wenigstens ein Wert abgeleitet, der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers an die Fluid-Transportpipeline (1) zwischen den beiden Messstellen (3) anzeigen kann. Mit dem erfindungsgemäßen Überwachungsverfahren können insbesondere plötzliche Beschädigungen der Fluid-Transportpipeline zuverlässig festgestellt werden. Da der kathodische Schutzstrom für das erfindungsgemäße Verfahren nicht moduliert werden muss, ist das erfindungsgemäße Verfahren ohne besonderen technischen Aufwand und kostengünstig realisierbar.

EP 1 728 895 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Überwachungsverfahren zum Feststellen einer Annäherung eines leitfähigen Körpers an eine mit einem kathodischen Schutzstrom beaufschlagte Fluid-Transportpipeline.

[0002] Fluid-Transportpipelines, z.B. Gas-, Öl- oder Wasserpipelines, bestehen in der Regel aus zusammengeschweißten Metallrohren, die unterirdisch oder unterseeisch verlegt werden. Im allgemeinen wird ein passiver Schutz der Transportpipeline in Form einer isolierenden Schutzabdeckung vorgesehen. Darüber hinaus wird ein aktiver Korrosionsschutz der Transportpipeline vorgesehen, indem ein kathodischer Schutzstrom an die Fluid-Transportpipeline angelegt wird, um elektrochemische Reaktionen soweit wie möglich zu vermeiden, die das Metall der Transportpipeline angreifen.

[0003] Der kathodische Korrosionsschutz wird dadurch überwacht, daß mit Hilfe von entsprechenden Sensoren die Ausgangsspannung der den kathodischen Schutzstrom liefernden Anlage, das Schutzpotential der mit dem kathodischen Schutzstrom beaufschlagten Transportpipeline und der Schutz- bzw. Rohrstrom über eine Rohrstrommeßstrecke gemessen werden. Die verschiedenen Meßwerte werden einmal täglich per SMS zu einer Überwachungszentrale für den kathodischen Schutz übertragen. In der Überwachungszentrale wird der langfristige Verlauf der Meßwerte überwacht. "Grobe" Schäden im kathodischen Schutz (z.B. eine Überbrückung eines Isolierstücks zwischen zwei Leitungsschutzabschnitten) können erkannt werden.

[0004] Zusätzlich zu den langfristigen Schäden kann eine Transportpipeline jedoch durch einen Unfall beschädigt werden, wenn beispielsweise ein Baufahrzeug in Kontakt mit der Transportpipeline oder mit deren Schutzabdeckung kommt. Da Baufahrzeuge leitfähige Körper sind, ist es wichtig, eine Annäherung eines leitfähigen Körpers an die Transportpipeline sofort zu erkennen, um Beschädigungen der Transportpipeline durch geeignete Maßnahmen noch zu verhindern oder wenigstens zu minimieren.

[0005] Aus der EP 0 411 689, der EP 0 495 259 und der EP 0 560 443 sind Überwachungsverfahren zum Feststellen einer Annäherung eines leitfähigen Körpers an eine mit einem kathodischen Schutzstrom beaufschlagte Fluid-Transportpipeline bekannt. Hierzu wird der kathodische Schutzstrom permanent mit Rechteckimpulsen bzw. mit sinuswellenförmigen Impulsen unterschiedlicher Frequenzen moduliert und die Änderung der Modulationsimpulse ausgewertet. Aufgrund der zusätzlich benötigten Modulationsimpulse ist der zusätzliche gerätetechnische Aufwand zur Realisierung dieser Verfahren beträchtlich. Die Kosten sind dementsprechend hoch.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, ein kostengünstiges Überwachungsverfahren zur Feststellung einer plötzlichen Annäherung eines leitfähigen Körpers an eine mit einem kathodischen Schutzstrom beaufschlagte Fluid-Transportpipeline zur Verfügung zu stellen.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein gattungsgemäßes Überwachungsverfahren, das dadurch gekennzeichnet ist,

- a) daß zu vorgegebenen Zeitpunkten an wenigstens zwei Meßstellen an der Fluid-Transportpipeline jeweils ein für den an der Meßstelle entlang der Fluid-Transportpipeline fließenden Schutzstrom repräsentativer Meßwert erfaßt wird,
- b) daß für jeden vorgegebenen Zeitpunkt aus den Meßwerten jeweils zweier beabstandeter Meßstellen ein für die Differenz der an den Meßstellen entlang der Pipeline fließenden Schutzströme repräsentativer Differenzwert gebildet wird,
- c) daß aus der zeitlichen Änderung der für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Differenzwerte wenigstens ein Wert abgeleitet wird, der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers an die Fluid-Transportpipeline zwischen den beiden Meßstellen anzeigen kann.

[0008] Mit dem erfindungsgemäßen Überwachungsverfahren kann ein Kontakt beispielsweise zwischen einem leitfähigen Baufahrzeug und der leitfähigen Fluid-Transportpipeline sofort erkannt werden. Sofern der Widerstand der Umgebung der Transportpipeline nicht zu hoch ist, beispielsweise bei unterseeischer Anordnung im Wasser, kann eine Annäherung des Baufahrzeugs bzw. allgemein eines leitfähigen Körpers bereits festgestellt werden, bevor der leitfähige Körper die leitfähige Transportpipeline berührt. Durch die Bildung der für die Differenz der an den Meßstellen entlang der Pipeline fließenden Schutzströme repräsentativen Differenzwerte gelingt es, Störeinflüsse zu reduzieren. Änderungen des Schutzstroms, die beispielsweise auf von Gleichstrombahnen erzeugte Streuströme oder auf Tellurik genannte erdmagnetische Variationen zurückzuführen sind, können weitgehend eliminiert werden. Erforderlich ist lediglich, daß an den zwei Meßstellen der Fluid-Transportpipeline im wesentlichen gleichzeitig jeweils ein für den an der Meßstelle fließenden Schutzstrom repräsentativer Meßwert erfaßt wird. Sofern mehr als zwei Meßstellen vorgesehen sind, sollten die Differenzwerte vorzugsweise jeweils aus den Meßwerten unmittelbar benachbarter Meßstellen gebildet werden.

[0009] Der für den entlang der Fluid-Transportpipeline fließenden Schutzstrom repräsentative Meßwert kann sowohl ein Spannungsmeßwert sein als auch ein Strommeßwert, welcher beispielsweise aus einem Spannungsmeßwert bestimmt wurde. Die in Schritt b) gebildeten für die Differenz der an den Meßstellen fließenden Schutzströme repräsen-

tativen Differenzwerte können in gleicher Weise sowohl Spannungsdifferenzwerte als auch Schutzstromdifferenzwerte sein. Werden Schutzstromdifferenzwerte verwendet, können diese auf zwei Arten bestimmt werden, nämlich indem zunächst die Schutzströme für die einzelnen Meßstellen bestimmt werden und dann die Differenz gebildet wird oder indem zunächst ein Spannungsdifferenzwert und daraus ein Schutzstromdifferenzwert gebildet wird.

[0010] Der wenigstens eine Annäherung eines leitfähigen Körpers an die Fluid-Transportpipeline anzeigende Wert kann sowohl digital als auch analog sein. Er wird aus der zeitlichen Änderung der für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Differenzwerte, d. h. auf der Basis des zeitlichen Verlaufs der gebildeten Differenzwerte bestimmt. Wenn beispielsweise die Differenzwerte plötzlich stark ansteigen oder stark abfallen, kann dies eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigen und es kann ein entsprechender die Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigender Wert, z.B. als Fehleranzeige oder zu deren Erzeugung erzeugt werden. Alternativ kann erst dann eine Annäherung eines leitfähigen Körpers angezeigt werden, wenn die Flanke eines solchen Anstiegs bzw. Abfalls eine bestimmte, ggf. gespeicherte, Form hat. Bei einer weiteren Variante kann der die Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert repräsentativ für die Schwankungsbreite des Differenzwertes in einem vorhergehenden Zeitraum sein, wobei einzelne "Ausreißer" des Differenzwertes je nach Anwendung unberücksichtigt bleiben können. Verändern sich die gebildeten Differenzwerte zeitlich dagegen nicht bzw. schwanken sie nur im Rahmen der Meßgenauigkeit, liegt keine Annäherung eines leitfähigen Körpers vor. Dies kann von dem die Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigenden Wert beispielsweise durch das Nichtanzeigen einer Fehlermeldung angezeigt werden.

[0011] Eine bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, daß ein konstanter Gleichstrom als kathodischer Schutzstrom an die Fluid-Transportpipeline angelegt wird.

[0012] Die Genauigkeit bei der Bestimmung des Ortes der Annäherung eines leitfähigen Körpers kann dadurch erhöht werden, daß die Meßstellen entlang der Fluid-Transportpipeline in Abständen unterhalb von 20 km, vorzugsweise in Abständen unterhalb von 5 km vorgesehen werden und die Differenzwerte aus den Meßwerten für unmittelbar benachbarte Meßstellen gebildet werden. Die Genauigkeit mit der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers festgestellt werden kann, hängt darüber hinaus von der Nennweite und der Wanddicke der Fluid-Transportpipeline und dem Verhältnis zwischen dem Einschaltpotential der mit dem kathodischen Schutzstrom beaufschlagten Fluid-Transportpipeline und dem Ruhepotential des sich nähernden leitfähigen Körpers ab. Da diese Größen jedoch ohne weiteres nicht verändert werden können, läßt sich die gewünschte Meßgenauigkeit am besten durch die entsprechende Anpassung der Abstände zwischen den Meßstellen realisieren.

[0013] Damit auch kleinere und/oder besonders kurzzeitige Änderungen des Schutzstroms erfaßt werden können, wird vorgeschlagen, daß die Meßwerte in regelmäßigen Zeitabständen kleiner als 1 s, vorzugsweise alle 0,1 - 0,5 s erfaßt werden. Beträgt die zeitliche Auflösung beispielsweise 0,2 s, können kurzzeitige metallische Kontakte bereits ab ca. 0,6 s zuverlässig erkannt werden.

[0014] Da erfindungsgemäß die Gleichstromänderung der fließenden Schutzströme ausgewertet wird, ist es vorteilhaft, daß an den Meßstellen möglicherweise vorhandene Wechselstromkomponenten derart herausgefiltert werden, daß die in Schritt a) erfaßten Meßwerte für die Gleichstromkomponenten des entlang der Fluid-Transportpipeline fließenden Schutzstroms repräsentativ sind. Auf diese Weise können die Einflüsse von technischen Wechselspannungen mit Hilfe von Filtern eliminiert werden. Aufgrund der Dämpfungseigenschaft dieser Filter können Gleichstromänderungen in der Regel überhaupt erst erfaßt werden, wenn sie eine Dauer von zumindest 200 ms aufweisen. Damit ein kurzzeitiger metallischer Fremdkontakt sicher erfaßt werden kann, müssen zumindest drei Meßzeitpunkte zur Verfügung stehen, d.h. der Fremdkontakt muß zumindest 600 ms bestehen. Folglich kann in einer Anordnung mit Filterung von Wechselspannungen die höchste Auflösung erzielt werden, wenn fünf für den Schutzstrom repräsentative Meßwerte pro Sekunde erfaßt werden.

[0015] Eine bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, daß im Schritt a) als Meßwert ein Spannungsmeßwert erfaßt wird.

[0016] Vorteilhafterweise wird jeder Meßstelle eine entlang der Pipeline verlaufende Meßstrecke zugeordnet und zur Erfassung des Spannungsmeßwerts die Spannung zwischen den beiden Endpunkten der Meßstrecke gemessen.

[0017] Die Meßgenauigkeit für den Spannungsmeßwert ist besonders hoch, wenn eine Meßstrecke einer Länge von wenigstens 10 m, vorzugsweise von wenigstens 30 m, verwendet wird.

[0018] Außerdem kann die Meßgenauigkeit dadurch erhöht werden, daß die Spannungsmeßwerte mit einer Auflösung von wenigstens 1 μV , vorzugsweise von wenigstens 0,1 μV erfaßt werden.

[0019] Eine Weiterbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die in Schritt a) an den verschiedenen Meßstellen erfaßten Meßwerte an eine zentrale Verarbeitungseinrichtung übertragen werden und die Schritte b) und c) von der zentralen Verarbeitungseinrichtung ausgeführt werden. Die Meßwertübertragung kann über ein GPRS-Netzwerk erfolgen. Die Verlegung der Schritte b) und c) in die zentrale Verarbeitungseinrichtung hat den Vorteil, daß an den verschiedenen Meßstellen lediglich eine Erfassung der Meßwerte und deren Übertragung sichergestellt werden muß. Die zentrale Verarbeitung sämtlicher Meßdaten erlaubt die Verwendung kostengünstigerer Hardware an den ggf. zahlreichen einzelnen Meßstellen.

[0020] Vorzugsweise werden die Schritte b) und c) in Echtzeit ausgeführt. Dies ist erforderlich, um plötzliche Beschä-

digungen bzw. allgemeiner ausgedrückt eine Annäherung eines leitfähigen Körpers ebenfalls in Echtzeit zu erkennen. Die Datenübertragung an die zentrale Verarbeitungseinrichtung erfolgt in der Regel über eine Onlineverbindung. Vorhandene Rohrstrommeßstellen können einfach dadurch auf das erfindungsgemäße Überwachungsverfahren umgerüstet werden, daß an diesen Überwachungssensoren installiert werden, die eine Übertragung der Meßwerte an die zentrale Verarbeitungseinrichtung erlauben und die Echtzeit-Ausführung der Schritte b) und c).

[0021] Eine Ausführungsform der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß im Schritt c) der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert aus der zeitlichen Änderung der für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Differenzwerte abgeleitet wird, indem

- i) Differenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte verglichen werden,
- ii) festgestellt wird, ob sich die Differenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte um mehr als einen vorgegebenen Schwellwert unterscheiden und
- iii) auf der Basis des Ergebnisses dieser Feststellung der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert erzeugt wird.

[0022] Alternativ kann im Schritt c) der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert aus der zeitlichen Änderung der für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Differenzwerte abgeleitet werden, indem

- i) die Differenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte verglichen werden,
- ii) wenn sich die Differenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte um mehr als einen vorgegebenen Schwellwert unterscheiden, zusätzlich die Differenzwerte für die Zeitpunkte unmittelbar vor und nach den im Schritt i) berücksichtigten Zeitpunkten verglichen werden,
- iii) festgestellt wird, ob sich auch die im Schritt ii) verglichenen Differenzwerte um mehr als den vorgegebenen Schwellwert unterscheiden und
- iv) auf der Basis des Ergebnisses dieser Feststellung der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert erzeugt wird.

[0023] Schließlich besteht eine weitere Möglichkeit zur Ableitung des eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigenden Wertes darin, daß im Schritt c) der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert aus der zeitlichen Änderung der für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Differenzwerte abgeleitet wird, indem

- i) der Verlauf der Differenzwerte mit der Zeit durch eine geglättete Kurve angenähert wird,
- ii) festgestellt wird, ob die zeitliche Änderung der geglätteten Kurve einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet und
- iii) auf der Basis des Ergebnisses dieser Feststellung der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert erzeugt wird.

[0024] Dabei kann die Art der Glättung beliebig variiert werden. Beispielsweise kann ein einzelner Ausreißer in den Differenzwerten bei der Glättung nicht berücksichtigt werden. Auch das Maß der Glättung kann individuell an die Meßumgebung angepaßt werden.

[0025] Im folgenden wird die Erfindung anhand beispielhafter Ausführungsformen näher erläutert. In den Figuren zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung der Stromverteilung an einer Gashochdruckleitung bei metallisch leitendem Fremdkontakt;

Figur 2 ein Diagramm, das den Einfluß der Nennweite auf die Spannungsdifferenz zwischen zwei Rohrstrommeßstrecken bei metallisch leitendem Fremdkontakt darstellt;

Figur 3 eine schematische Darstellung des Überwachungsprinzips für eine Gashochdruckleitung mit mehreren Schutzabschnitten;

Figuren 4a und 4b jeweils Diagramme, die den zeitlichen Verlauf der Rohrstrommeßwerte an zwei Meßstellen zeigen, zwischen denen nacheinander drei metallische Fremdkontakte mit der Rohrleitung realisiert wurden;

Figur 4c ein Diagramm, das die Differenz der in den Figuren 4a und 4b dargestellten Rohrströme zeigt, und zwar wiederum aufgetragen gegen die Zeit; und

Figuren 4d und 4e jeweils Diagramme von Rohrstromdifferenzen für die den Leitungsabschnitt unmittelbar stromauf bzw. unmittelbar stromab dem Leitungsabschnitt mit metallischem Fremdkontakt.

[0026] Figur 1 zeigt schematisch die Stromverteilung an einer Rohrleitung 1 bei metallische leitendem Fremdkontakt. Die als Gashochdruckleitung genutzte Rohrleitung 1 ist mit einer Schutzanlage 2 für den kathodischen Korrosionsschutz

verbunden, genauer gesagt mit deren (nicht dargestellter) Kathode. An der Rohrleitung 1 sind zwei Meßstellen 3 zur Messung des kathodischen Schutzstroms vorgesehen. Die Meßstellen 3 weisen jeweils eine 30 Meter lange Meßstrecke zur Erfassung des Spannungsmeßwerts U1 bzw. U2 auf. Die Rohrleitung 1 weist an einer Stelle 5 einen metallischen Fremdkontakt auf. Hierbei handelt es sich um ein Baufahrzeug, das sich der Rohrleitung 1 genähert hat und diese nun berührt. Da das Baufahrzeug beispielsweise durch die Baggerketten bzw. die Baggerschaufel einen endlichen Ausbreitungswiderstand gegen das Erdreich aufweist, tritt über das Baufahrzeug während der Kontaktzeit bzw. während der Schadenseinwirkung ein zusätzlicher Strom, genannt Fehlerstrom I_F in die Rohrleitung 1 ein. Wenn gemäß dem erfindungsgemäßen Überwachungsverfahren die Schutz- bzw. Rohrströme von den benachbarten Meßstellen 3 zu vorgegebenen Zeitpunkten erfaßt werden, kann aus der Differenz der an den beiden Meßstellen 3 fließenden Rohrströmen die zusätzliche Stromaufnahme erkannt und somit ein plötzlicher Kontakt mit der Rohrleitung 1 auf einfache Weise sofort festgestellt werden.

[0027] Da die Rohrströme nicht ohne weiteres gemessen werden können, werden an den Meßstellen 3 jeweils die Spannungsmeßwerte U1 bzw. U2 für die zugehörigen Meßstrecken erfaßt. Der Widerstand einer Rohrstrommeßstrecke berechnet sich wie folgt:

$$R_{Strom} = \rho \frac{l}{\frac{\pi}{4} d_a^2 - \frac{\pi}{4} d_i^2} = \rho \frac{l}{\frac{\pi}{4} (d_a^2 - d_i^2)} = \rho \frac{4l}{\pi (d_a + d_i)(d_a - d_i)}$$

$$= \rho \frac{4l}{\pi (d + s + d - s)(d + s - d + s)} = \rho \frac{4l}{\pi (2d 2s)} = \rho \frac{l}{\pi ds} = \frac{l\rho}{\pi ds}$$

wobei

R_{Strom} =	Widerstand der Rohrstrommeßstelle
ρ =	spezifischer elektrischer Widerstand von Stahl
l =	Länge der Rohrstrommeßstrecke
d_a =	Rohraußendurchmesser
d_i =	Rohrinnendurchmesser
d =	mittlerer Rohrdurchmesser
s =	Wanddicke der Rohrleitung
U_{Ein} =	Einschaltpotenzial
U_R =	Ruhepotenzial des Baufahrzeuges
$R_{Kontakt}$ =	Ausbreitungswiderstand des Baufahrzeuges an der Kontaktstelle
I_1, I_2 =	Rohrstrom
I_F =	Fehlerstrom
ΔU =	Spannungsdifferenz zwischen den beiden Rohrstrommeßstrecken
ΔI =	Stromdifferenz zwischen den beiden Rohrstrommeßstrecken

[0028] Die Rohrströme I_1 und I_2 sind in der Regel gleich. Daraus folgt für die Spannungsdifferenz, wenn die Rohr-abmessungen und die Längen der beiden Rohrstrommeßstrecken konstant sind:

$$\Delta U = \frac{l\rho}{\pi ds} (I_1 + I_F) - \frac{l\rho}{\pi ds} I_2 = \frac{l\rho}{\pi ds} I_F$$

[0029] Es zeigt sich also bei diesen Voraussetzungen, daß im Fehlerfall die Spannungsdifferenz zwischen zwei Rohr-strommeßstrecken proportional zum Fehlerstrom ist. Für den Fehlerstrom selbst gilt:

$$I_F = \frac{U_{\text{Ein}} - U_R}{R_{\text{Kontakt}}}$$

5

[0030] In Figur 2 ist der Einfluß der Nennweite der Rohrleitung auf die Spannungsdifferenz zwischen zwei Rohrstrommeßstrecken $\Delta U = U_1 - U_2$ dargestellt. Es wurden sechs verschiedene Fremdkontakte mit einem Ausbreitungswiderstand zwischen 5 und 500 Ohm erfaßt und dargestellt. Dem Diagramm liegen die folgenden weiteren Parameter zugrunde:

10 $\rho = 0,13 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, $l = 30 \text{ m}$, $d = 250 - 1200 \text{ mm}$, $s = 12 \text{ mm}$, $U_{\text{Ein}} = -1,7 \text{ V}$, $U_R = -0,5 \text{ V}$ und $R_{\text{Kontakt}} = 5 - 500 \text{ Ohm}$

[0031] Das Diagramm zeigt deutlich, daß die Spannungsdifferenz im Fehlerfall umgekehrt proportional zur Nennweite der Rohrleitung ist. Fremdkontakte oder plötzliche Rohrbeschädigungen können daher bei geringeren Rohrdurchmessern besser aufgelöst werden. Darüber hinaus zeigt das Diagramm, daß die Spannungsdifferenz bei niederohmigen Fremdkontakten wesentlich höher als bei hochohmigen Fremdkontakten ist. Der Grund hierfür ist, daß die Spannungsdifferenz im Fehlerfall umgekehrt proportional zum Ausbreitungswiderstand des Fremdkontakts, beispielsweise des Baufahrzeugs, an der Kontaktstelle ist.

15 **[0032]** Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung des dem erfindungsgemäßen Verfahrens zugrunde liegende Überwachungsprinzips.

[0033] Die in Figur 3 dargestellte Rohrleitung 1 besteht aus zwei Schutzabschnitten 5 und 6, denen jeweils eine Schutzanlage 21 bzw. 22 zugeordnet ist. Die Schutzabschnitte 5 und 6 sind mit Hilfe einer Isoliereinrichtung 7 voneinander isoliert. Weitere Isoliereinrichtungen 7 sind zwischen den beiden Schutzabschnitten 5 und 6 und benachbarten (nicht dargestellten) Schutzabschnitten vorgesehen. Der Schutzabschnitt 5 umfaßt eine Schutzanlage 21 für den kathodischen Korrosionsschutz und sechs zugehörige Meßstellen 31 bis 36. Der Schutzabschnitt 6 umfaßt eine Schutzanlage 22 für den kathodischen Korrosionsschutz und zwei zugehörige Meßstellen 37 und 38. Die Spannungsdifferenzen werden stets nur zwischen benachbarten Meßstellen innerhalb eines Schutzabschnitts gebildet. Meßwerte von Meßstellen, die elektrisch voneinander getrennten Leitungen zugeordnet sind, werden nicht verglichen. Folglich werden in Figur 3 die Meßwerte der Meßstellen 31 und 32, 32 und 33, 33 und 34, 34 und 35, 34 und 36 sowie 37 und 38 verglichen. Sofern die Widerstandswerte der einzelnen Rohrstrommeßstrecken gleich sind, verhält sich die Rohrstromdifferenz proportional zur Spannungsdifferenz. Daher können in diesem Fall als Meßwerte unmittelbar die Spannungsmeßwerte der einzelnen Meßstellen verglichen werden. Ansonsten müssen die Spannungsmeßwerte der einzelnen Meßstellen in Rohrstrommeßwerte umgerechnet werden und diese dann miteinander verglichen werden.

20 **[0034]** Figur 4a bis 4d zeigt Meßwerte bzw. Differenzwerte, die gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren in einem Versuch gewonnen wurden. Für den Versuch wurden zwischen den Rohrstrommeßstellen 32 und 33 gemäß Fig. 3 an der Rohrleitung 1 Fehler simuliert, indem nacheinander entsprechend dimensionierte ohmsche Widerstände mit der Rohrleitung und dem Erdreich jeweils für eine Dauer von 30 s verbunden wurden. Um sicherzustellen, daß die Messungen an den verschiedenen Meßstellen jeweils zeitgleich erfolgten, wurden die Meßwerte mit einem Zeitstempel versehen. Bei dem Versuch, wurden die Meßwerte mit einem zeitlichen Abstand von 2 s und einer Meßauflösung der Sensoren von $1 \mu\text{V}$ erfaßt. Figur 4a und 4b zeigen den zeitlichen Verlauf der Rohrstrommeßwerte an den Meßstellen 32 bzw. 33 gemäß Figur 3. Die Rohrleitung 1 hat einen mittleren Rohrdurchmesser von 1200 mm und ist mit einer PE-Schutzabdeckung versehen. Die durch die drei simulierten Fehler hervorgerufenen Rohrstromänderungen sind in den Figuren 4a und 4b kaum zu erkennen. Der Grund sind durch Tellurik verursachte Stromschwankungen.

30 **[0035]** Figur 4c zeigt die Differenz der an den Meßstellen 32 und 33 gemessenen und in de Fig. 4a und Fig. 4b dargestellten Rohrstrommeßwerte. Durch die Differenzbildung sind die drei simulierten Fehler wesentlich deutlicher zu erkennen.

35 **[0036]** Im Vergleich dazu sind die Rohrstromdifferenzen für benachbarte Rohrabschnitte außerhalb des fehlerbehafteten Abschnitts in Figur 4d und 4e dargestellt, nämlich in Figur 4d die Rohrstromdifferenzen zwischen den Meßstellen 31 und 32 und in Figur 4e die Rohrstromdifferenzen zwischen den Meßstellen 33 und 34.

40 **[0037]** Die drei simulierten Fehler sind in Fig. 4d und Fig. 4e nicht zu erkennen. Die Stromdifferenzen von ca. 100 mA bis 120 mA werden ebenfalls durch Tellurik verursacht. Die kleineren Schwankungen zwischen den Meßwerten sind auf die begrenzte Meßwertauflösung der Meßeingänge zurückzuführen.

45 **[0038]** Den Figuren 4d und 4e ist darüber hinaus zu entnehmen, daß ein plötzlicher Anstieg bzw. Abfall der Rohrstromdifferenz, welcher auf einen Meßwert beschränkt ist, in der Regel keinen Fehler anzeigt. Die Rohrstromdifferenzen sind daher vorzugsweise so auszuwerten, daß einzelne Ausreißer nicht berücksichtigt werden. Dies ist beispielsweise durch eine geeignete Glättung der Rohrstromdifferenzkurve möglich. Dementsprechend kann eine plötzliche Beschädigung der Rohrleitung bzw. eine plötzliche Annäherung eines leitfähigen Körpers in der Regel erst dann festgestellt werden, wenn sich nicht nur die Rohrstromdifferenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte um mehr als einen vorgegebenen Schwellwert unterscheiden, sondern auch die Differenzwerte für die Zeitpunkte unmittelbar vor und nach den zuvor berücksichtigten Zeitpunkten ebenfalls um mehr als einen vorgegebenen Schwellwert unterscheiden.

50 **[0037]** Die drei simulierten Fehler sind in Fig. 4d und Fig. 4e nicht zu erkennen. Die Stromdifferenzen von ca. 100 mA bis 120 mA werden ebenfalls durch Tellurik verursacht. Die kleineren Schwankungen zwischen den Meßwerten sind auf die begrenzte Meßwertauflösung der Meßeingänge zurückzuführen.

55 **[0038]** Den Figuren 4d und 4e ist darüber hinaus zu entnehmen, daß ein plötzlicher Anstieg bzw. Abfall der Rohrstromdifferenz, welcher auf einen Meßwert beschränkt ist, in der Regel keinen Fehler anzeigt. Die Rohrstromdifferenzen sind daher vorzugsweise so auszuwerten, daß einzelne Ausreißer nicht berücksichtigt werden. Dies ist beispielsweise durch eine geeignete Glättung der Rohrstromdifferenzkurve möglich. Dementsprechend kann eine plötzliche Beschädigung der Rohrleitung bzw. eine plötzliche Annäherung eines leitfähigen Körpers in der Regel erst dann festgestellt werden, wenn sich nicht nur die Rohrstromdifferenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte um mehr als einen vorgegebenen Schwellwert unterscheiden, sondern auch die Differenzwerte für die Zeitpunkte unmittelbar vor und nach den zuvor berücksichtigten Zeitpunkten ebenfalls um mehr als einen vorgegebenen Schwellwert unterscheiden.

[0039] Mit dem erfindungsgemäßen Überwachungsverfahren gelingt es bei vorhandenem kathodischen Korrosionsschutz, ohne zusätzlich zu überlagernde Signale plötzliche Beschädigungen einer Rohrleitung zuverlässig, ohne besonderen technischen Aufwand und kostengünstig festzustellen.

[0040] Im Rahmen der Erfindung sind zahlreiche Abwandlungen denkbar. Die für den Schutzstrom repräsentativen Meßwerte sollten an den wenigstens zwei Meßstellen vorzugsweise zeitgleich erfaßt werden. Dennoch kann es in manchen Umgebungen genügen, wenn die Meßwerte lediglich möglichst zeitgleich erfaßt werden. Die Abstände der Meßstellen entlang der Fluid-Transportpipeline können selbstverständlich beliebig variiert werden, wobei möglichst nahe Abstände vorzuziehen sind, da nicht der genaue Ort der Beschädigung bzw. der Annäherung eines leitfähigen Körpers festgestellt wird, sondern nur, daß sich zwischen den verglichenen Meßstellen irgendwo ein leitfähiger Körper der Rohrleitung nähert bzw. diese plötzlich berührt. Auch die Zeitabstände zwischen den einzelnen Messungen können beliebig verändert werden. Wenn an den einzelnen Meßstellen Spannungsmeßwerte erfaßt werden, könnten die Rohrstrommeßwerte statt in der zentralen Verarbeitungseinrichtung auch in den einzelnen Meßstellen berechnet werden. Ferner kann die zeitliche Änderung der Differenzwerte beliebig ausgewertet werden, um den eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigenden Wert abzuleiten. In jedem Fall sollte allerdings sichergestellt werden, daß ein plötzlicher Anstieg bzw. Abfall der gebildeten Differenzwerte, welcher über mehrere Differenzwerte anhält, einen Wert erzeugt, der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigt. Außerdem wird das erfindungsgemäße Überwachungsverfahren in der Regel auf das Feststellen einer Annäherung eines leitfähigen Körpers an eine Fluid-Transportpipeline erst bei elektrischem Kontakt mit der Transportpipeline beschränkt sein, so daß eine Annäherung vor Berühren der leitfähigen Transportpipeline nicht festgestellt werden kann. In diesem Fall ist der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert ein einen plötzlichen elektrischen Kontakt eines leitfähigen Körpers mit der Transportpipeline anzeigender Wert.

[0041] Schließlich kann die Erkennbarkeit einer Annäherung eines leitfähigen Körpers oder einer plötzlichen Beschädigung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch je nach Anwendung erhöht werden, daß sämtliche Baufahrzeuge im Bereich der Rohrleitung gezielt niederohmig geerdet werden.

Patentansprüche

1. Überwachungsverfahren zum Feststellen einer Annäherung eines leitfähigen Körpers an eine mit einem kathodischen Schutzstrom beaufschlagte Fluid-Transportpipeline, **dadurch gekennzeichnet**,
 - a) daß zu vorgegebenen Zeitpunkten an wenigstens zwei Meßstellen an der Fluid-Transportpipeline jeweils ein für den an der Meßstelle entlang der Fluid-Transportpipeline fließenden Schutzstrom repräsentativer Meßwert erfaßt wird,
 - b) daß für jeden vorgegebenen Zeitpunkt aus den Meßwerten jeweils zweier beabstandeter Meßstellen ein für die Differenz der an den Meßstellen entlang der Pipeline fließenden Schutzströme repräsentativer Differenzwert gebildet wird,
 - c) daß aus der zeitlichen Änderung der für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Differenzwerte wenigstens ein Wert abgeleitet wird, der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers an die Fluid-Transportpipeline zwischen den beiden Meßstellen anzeigen kann.
2. Überwachungsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein konstanter Gleichstrom als kathodischer Schutzstrom an die Fluid-Transportpipeline angelegt wird.
3. Überwachungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Meßstellen entlang der Fluid-Transportpipeline in Abständen unterhalb von 20 km, vorzugsweise in Abständen unterhalb von 5 km vorgesehen werden.
4. Überwachungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Meßwerte in regelmäßigen Zeitabständen kleiner als 1 s, vorzugsweise alle 0,1 bis 0,5 s, erfaßt werden.
5. Überwachungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** an den Meßstellen möglicherweise vorhandene Wechselstromkomponenten derart herausgefiltert werden, daß die in Schritt a) erfaßten Meßwerte für die Gleichstromkomponenten des entlang der Fluid-Transportpipeline fließenden Schutzstroms repräsentativ sind
6. Überwachungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** im Schritt a) als

Meßwert ein Spannungsmeßwert erfaßt wird.

7. Überwachungsverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** jeder Meßstelle eine entlang der Pipeline verlaufende Meßstrecke zugeordnet wird und **daß** zur Erfassung des Spannungsmeßwerts die Spannung zwischen den beiden Endpunkten der Meßstrecke gemessen wird.
8. Überwachungsverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Meßstrecke einer Länge von wenigstens 10 m, vorzugsweise wenigstens 30 m, verwendet wird.
9. Überwachungsverfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Spannungsmeßwerte mit einer Auflösung von wenigstens $1\ \mu\text{V}$, vorzugsweise von wenigstens $0,1\ \mu\text{V}$, erfaßt werden.
10. Überwachungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** die in Schritt a) an den verschiedenen Meßstellen erfaßten Meßwerte an eine zentrale Verarbeitungseinrichtung übertragen werden und die Schritte b) und c) von der zentralen Verarbeitungseinrichtung ausgeführt werden.
11. Überwachungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Schritte b) und c) in Echtzeit ausgeführt werden.
12. Überwachungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** im Schritt c) der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert aus der zeitlichen Änderung der für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Differenzwerte abgeleitet wird, indem
 - i) Differenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte verglichen werden,
 - ii) festgestellt wird, ob sich die Differenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte um mehr als einen vorgegebenen Schwellwert unterscheiden und
 - iii) auf der Basis des Ergebnisses dieser Feststellung der die Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert erzeugt wird.
13. Überwachungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** im Schritt c) der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert aus der zeitlichen Änderung der für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Differenzwerte abgeleitet wird, indem
 - i) die Differenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte verglichen werden,
 - ii) wenn sich die Differenzwerte für unmittelbar aufeinanderfolgende Zeitpunkte um mehr als einen vorgegebenen Schwellwert unterscheiden, zusätzlich die Differenzwerte für die Zeitpunkte unmittelbar vor und nach den im Schritt i) berücksichtigten Zeitpunkten verglichen werden,
 - iii) festgestellt wird, ob sich auch die im Schritt ii) verglichenen Differenzwerte um mehr als den vorgegebenen Schwellwert unterscheiden und
 - iv) auf der Basis des Ergebnisses dieser Feststellung der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert erzeugt wird.
14. Überwachungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** im Schritt c) der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert aus der zeitlichen Änderung der für die vorgegebenen Zeitpunkte gebildeten Differenzwerte abgeleitet wird, indem
 - i) der Verlauf der Differenzwerte mit der Zeit durch eine geglättete Kurve angenähert wird,
 - ii) festgestellt wird, ob die zeitliche Änderung der geglätteten Kurve einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet und
 - iii) auf der Basis des Ergebnisses dieser Feststellung der eine Annäherung eines leitfähigen Körpers anzeigende Wert erzeugt wird.

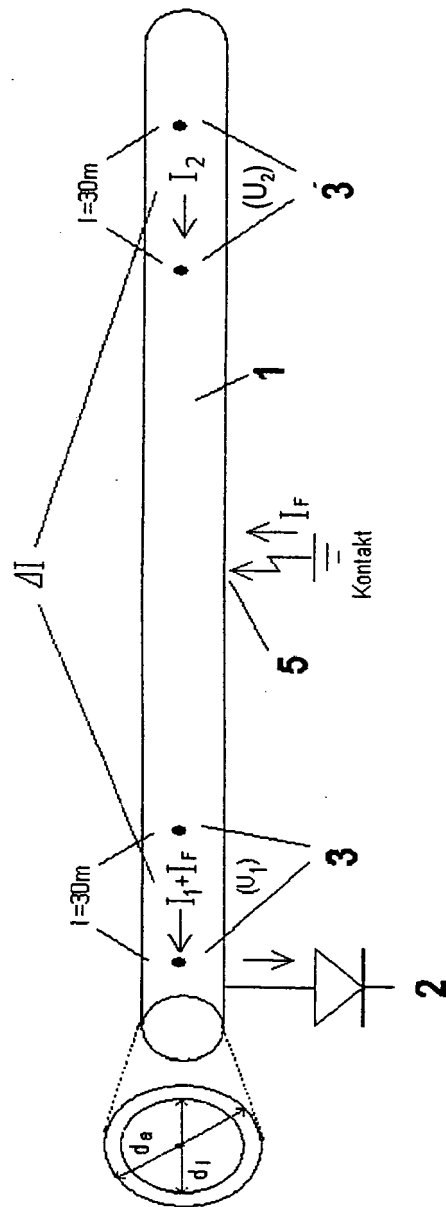


Fig. 1

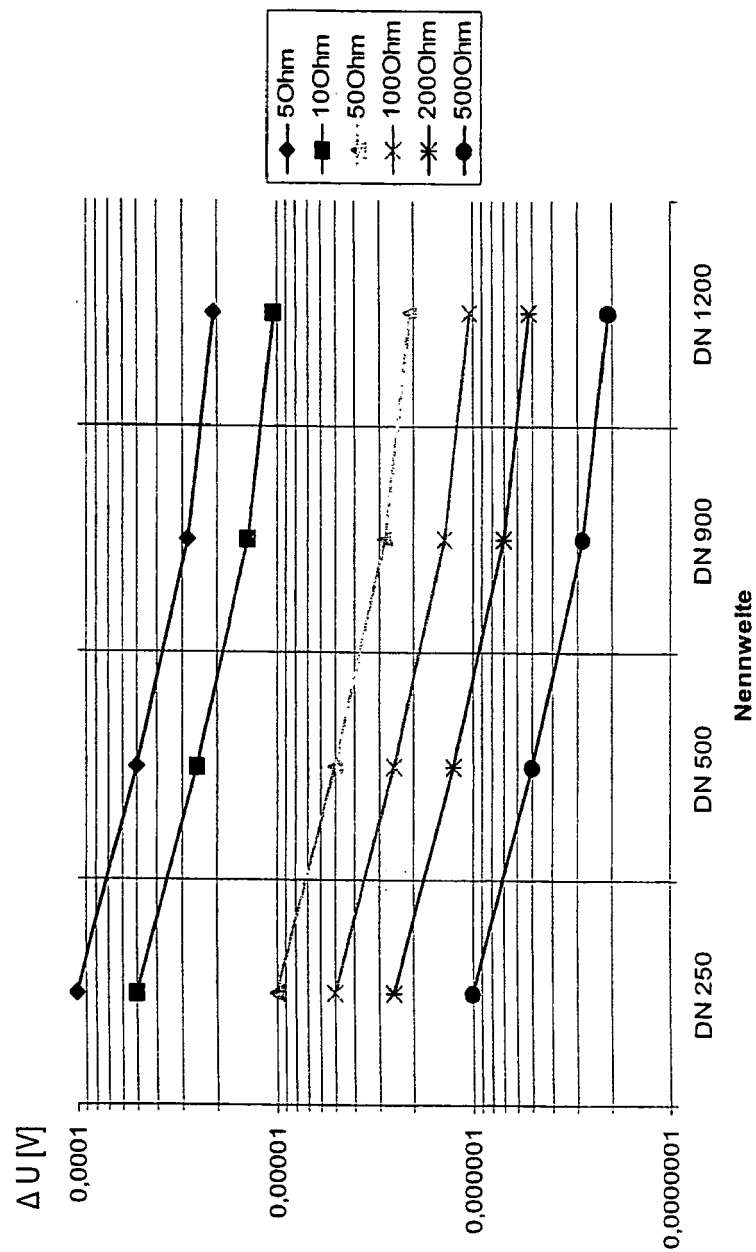


Fig. 2

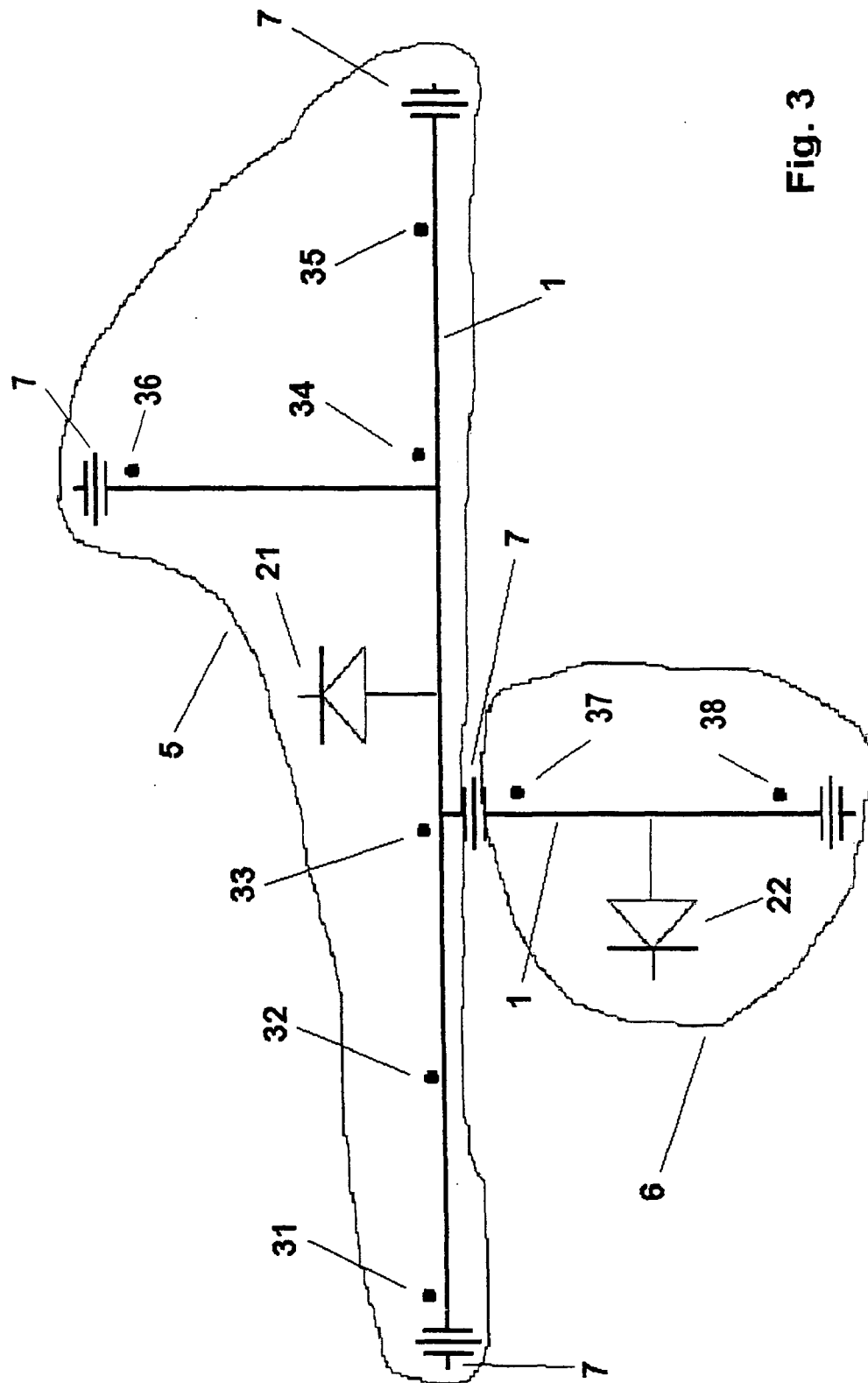


Fig. 3

Fig. 4a

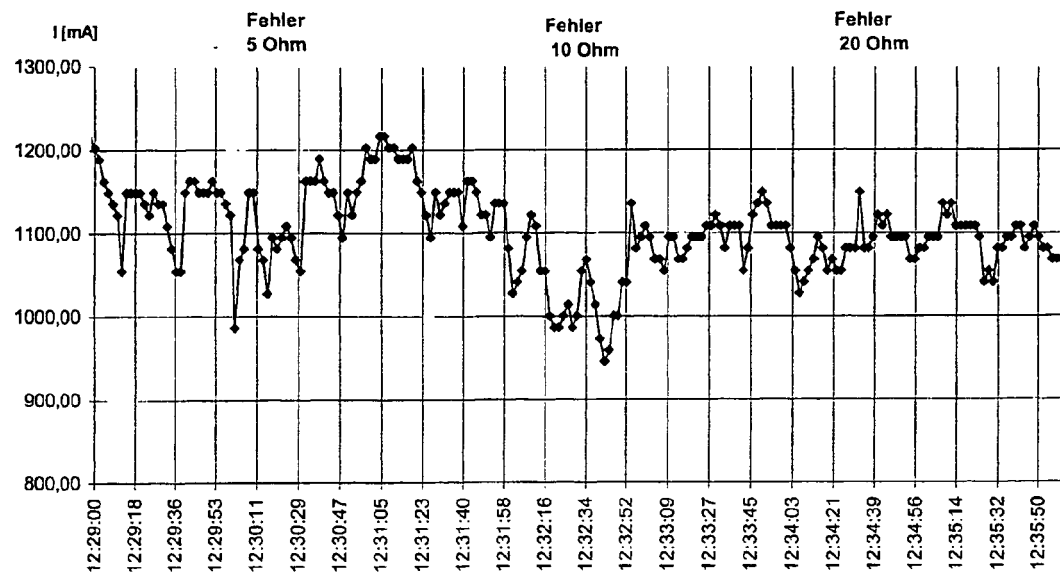


Fig. 4b

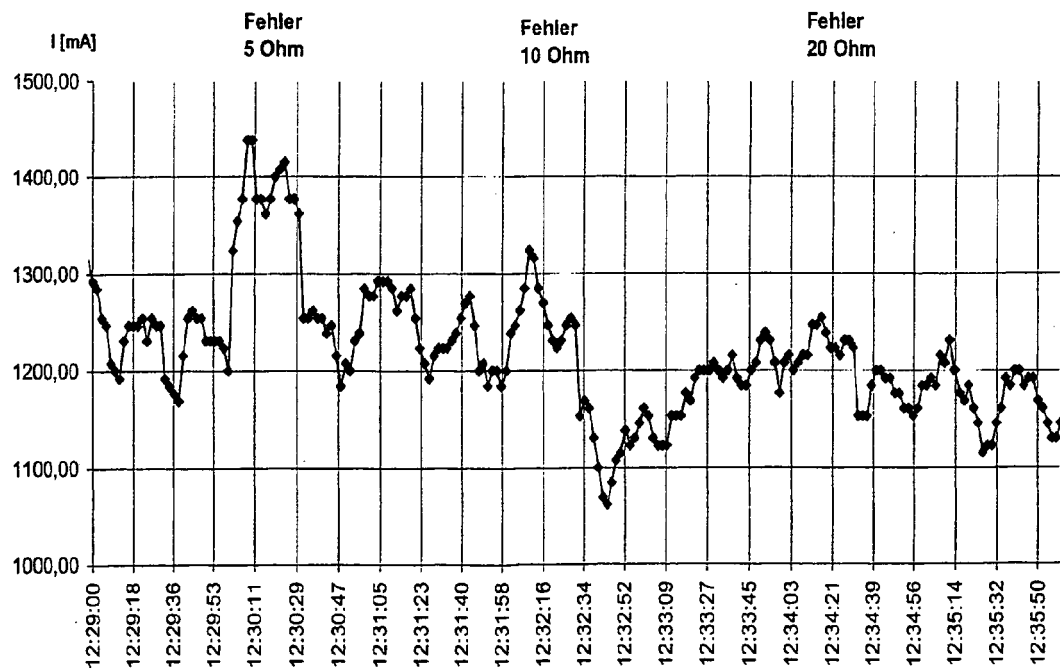


Fig. 4c

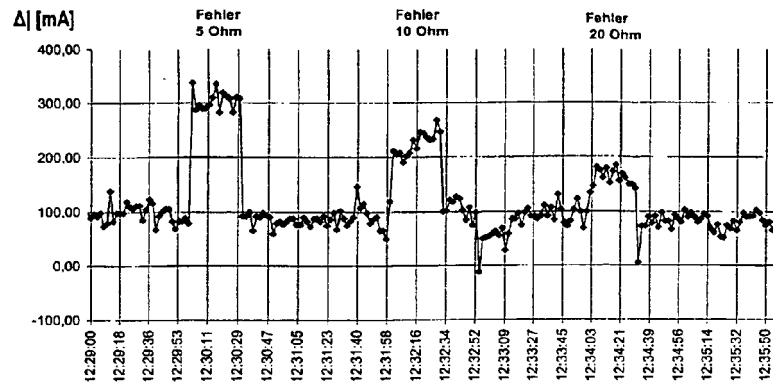


Fig. 4d

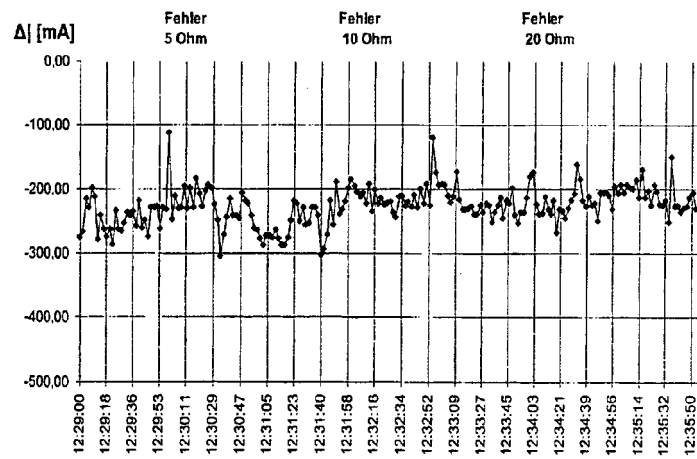
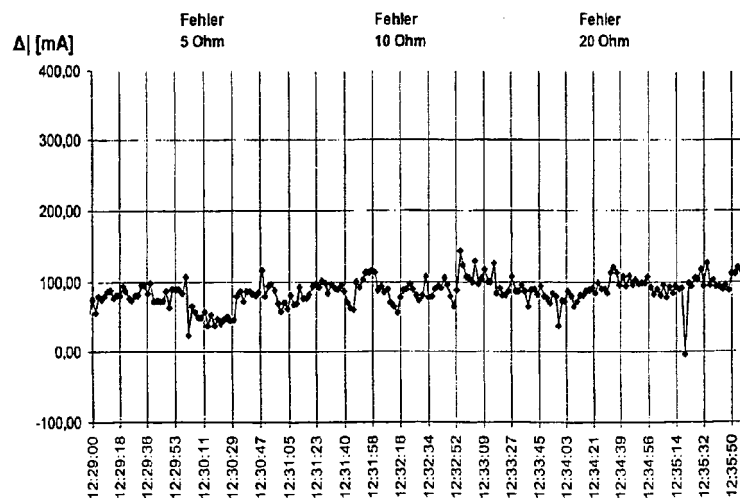


Fig. 4e





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 06 00 6493

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DATABASE INSPEC [Online] THE INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB; November 1987 (1987-11), RICKERT H ET AL: "Electrochemical investigations into cathodic corrosion protection using an interruption-potentiostat" XP002385182 Database accession no. 3108662 * Zusammenfassung * & Werkstoffe und Korrosion West Germany, Bd. 38, Nr. 11, 1987, Seiten 691-695, ISSN: 0043-2822 -----	1-14	INV. C23F13/04 G01R27/14 G01R27/18
X	DE 100 21 994 A1 (RUHRGAS AKTIENGESELLSCHAFT; OFFENE AKTIENGESELLSCHAFT GAZPROM, MOSKAU) 8. November 2001 (2001-11-08) Ansprüche * das ganze Dokument * -----	1-14	
X	US 2004/004479 A1 (FLATT DAVID WILLIAM ET AL) 8. Januar 2004 (2004-01-08) Ansprüche -----	1-14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C23F G01R
A	US 6 107 811 A (CAUDILL ET AL) 22. August 2000 (2000-08-22) * das ganze Dokument * -----	1-14	
2 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 20. Juni 2006	Prüfer Ramos Flores, C
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 06 00 6493

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-06-2006

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10021994 A1	08-11-2001	KEINE	
US 2004004479 A1	08-01-2004	US 2001047247 A1	29-11-2001
US 6107811 A	22-08-2000	CA 2258360 A1	12-08-1999

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0411689 A [0005]
- EP 0495259 A [0005]
- EP 0560443 A [0005]