

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
17. Oktober 2002 (17.10.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/082034 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01M 3/18** Zingergraben 26, 13156 Berlin (DE). **SCHÖNHERR, Peter** [DE/DE]; Am Kirschberg 9k, 01796 Dohma (DE).
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/02797 **WOLF, Ernst-Hermann** [DE/DE]; Weinberggasse 8, 01662 Meissen (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum:
13. März 2002 (13.03.2002) (74) **Anwalt: RÖSLER, Uwe**; Landsberger Str. 480a, 81241 München (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (81) **Bestimmungsstaaten (national)**: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) **Bestimmungsstaaten (regional)**: ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (30) Angaben zur Priorität:
101 17 238.9 6. April 2001 (06.04.2001) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)**: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Leonrodstr. 54, 80636 München (DE). **PROKONING GMBH** [DE/DE]; Romain-Rolland-Strasse 135, 13089 Berlin (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US)**: **BECKER, Rainer** [DE/DE]; Heinstr. 3, 66399 Mandelbachtal (DE). **RODNER, Christoph** [DE/DE]; Goethestr. 19, 66280 Sulzbach (DE). **KISELMANN, Ifrit** [DE/DE]; Pfarrwiese 6, 66440 Blieskastel (DE). **DISQUÉ, Michael** [DE/DE]; Schwänselstr. 33, 66125 Saarbrücken (DE). **HERZ, Wolfgang** [DE/DE]; Michelstr. 5, 54668 Prümzurly (DE). **NEUMANN, Frieder** [DE/DE]; Wolkensteinstr. 16, 13129 Berlin (DE). **PRIMKE-ENGEL, Reiner** [DE/DE];
- Veröffentlicht:**
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) **Title:** METHOD AND DEVICE FOR DETECTING THE LOCATION OF FAULTS IN INSULATED CONDUIT SYSTEMS

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DETEKTION VON FEHLERSTELLEN IN ISOLIERTEN LEITUNGSSYSTEMEN

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for detecting the location of faults in a conduit system that is provided with a jacket, at least one wire that runs in a longitudinal direction in relation to the conduit system being located in said jacket at a distance from the conduit system. The invention is characterised in that an alternating current is supplied to the conduit system and the wire or the two or more wires which run at a distance from one another, that the magnetic field generated by the alternating current through the conduit system, or by the wire or wires is detected in a locally resolved manner along the conduit system and that a magnetic field evaluation is carried out based on the detected magnetic field, said evaluation being used to detect the location of faults.

(57) **Zusammenfassung:** Beschrieben wird ein Verfahren zur Detektion von Fehlerstellen innerhalb eines mit einer Ummantelung versehenen Leitungssystems, innerhalb dessen Ummantelung beabstandet vom Leitungssystem wenigstens ein Draht längs zum Leitungssystem verlaufend angeordnet ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass in das Leitungssystem und in den wenigstens einen Draht oder in zwei oder mehr zueinander beabstandet verlaufenden Drähte Wechselstrom eingespeist wird, dass das durch den Wechselstrom durch das Leitungssystem und den Draht oder durch die Drähte erzeugte Magnetfeld längs des Leitungssystems ortsaufgelöst detektiert wird, und dass auf Grundlage des detektierten Magnetfeldes eine Magnetfeldauswertung durchgeführt wird, mittels der die Fehlerstellen detektierbar sind.

WO 02/082034 A2

Verfahren und Vorrichtung zur Detektion von Fehlerstellen in isolierten Leitungssystemen

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Detektion von Fehlerstellen innerhalb eines mit einer Ummantelung versehenen Leitungssystems, in dessen Ummantelung beabstandet vom Leitungssystem wenigstens ein Draht längs zum Leitungssystem verlaufend angeordnet ist.

Stand der Technik

Mit einer Ummantelung versehene Leitungssysteme betreffen eine Vielzahl unterschiedlich ausgebildeter Leitungssysteme, die zur Übertragung von elektrischer Energie dienen, in Form elektrisch isolierter Kabelanordnungen, und bis hin zum Transport von Stoffströmen in Erdgasleitungen oder Fernwärmerohren reichen. Allen Leitungssystemen ist gemein, dass sie vor äußeren mechanischen, thermischen oder witterungsbedingten Einflüssen geschützt werden müssen, weshalb sie mit einer zumeist feuchtigkeitdichten Ummantelung versehen sind. Wird jedoch die das innenliegende Leitungssystem schützende Ummantelung verletzt, so ist ihre Schutzwirkung lokal erheblich beeinträchtigt, wodurch das Leitungssystem den vorstehend genannten äußeren Einwirkungen ungeschützt ausgesetzt ist. Eben jene Fehlerstellen gilt es zu detektieren, noch bevor das Leitungssystem einen irreversiblen Schaden davonträgt. Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich vornehmlich auf Fernwärmerohre, doch sind alle in diesem Zusammenhang angestellten Überlegungen grundsätzlich auch auf mit einer Ummantelung versehene allgemeine Leitungssysteme zu übertragen.

Fernwärmerohre sind in an sich bekannter Weise mit einem schaumgefüllten Kunststoffmantel umgeben und werden einige Meter unter der Erde verlegt. In einem Leitungsverbund zirkuliert in den Rohrleitungen Wasser zwischen einer zentralen Heizstelle und den verschiedenen Verbrauchern. Im Vor- und Rücklauf werden die als Stahlrohre ausgebildeten Fernwärmerohre mit unterschiedlichen Durchmesser eingesetzt, die der Größe des jeweiligen Netzes bzw. Netzabschnitts angepaßt sind. Die Rohre sind, neben rohrstatischen Gründen zur Verringerung der Wärmeverluste mit einer Ummantelung aus isolierendem Hartschaum und zum Schutz vor äußeren mechanischen Einwirkungen sowie vor Bodenfeuchtigkeit mit einem äußeren Kunststoff-Mantelrohr versehen.

Beim Betrieb eines Fernwärmenetzes werden die Rohrleitungen im Allgemeinen bezüglich ihrer Dichtheit überwacht. Neben Beschädigungen der äußeren Ummantelung können auch Leckagen an den Medienrohren, die häufig durch Schweißnahtfehler hervorgerufen werden, zu Feuchtestellen führen. Da diese Feuchtestellen zu Energieverlusten und zur Zerstörung des Rohrleitungssystems führen können, sind sie umgehend zu detektieren, zu orten und zu beheben.

Die direkte Detektion eines durch Material- oder Montagefehler hervorgerufenen Lecks, z.B. durch Einsatz eines Verfahrens der zerstörungsfreien Prüfung ist nicht möglich, da die Rohre tief im Boden mit einer Überdeckung von bis zu 2 m verlegt sind und schon kleinste Löcher in der Rohrwand, die weit unterhalb der Nachweisgrenze dieser Verfahren liegen, zu vorstehend genannten Beeinträchtigungen führen.

Deshalb muß die Detektion des Lecks auf anderem Wege erfolgen. Dabei macht man sich zunutze, daß beim intakten Rohrsystem das Innere der Rohrummantelung stets trocken bleibt, während eine Leckage mit einer ergiebigen Feuchtigkeitsansammlung im Hartschaum verbunden ist. Wenn es gelingt, mit einem geeigneten Verfahren diese Feuchtigkeit zu detektieren und zu lokalisieren, ist auf indirektem Wege auch die Detektion und Ortsbestimmung der verursachenden Leckage gegeben.

Feuchtigkeit im Inneren der Ummantelung kann auch durch Bodenwasser verursacht sein, das durch eine Beschädigung des äußeren Hüllrohrs eingedrungen ist. Auch dabei liegt eine gravierende Störsituation vor, da neben den mit Durchfeuchtung des Schaumes verbundene Wärmeverluste das eindringende Bodenwasser mit den darin gelösten Salzen die Rohrkorrosion sowie die Auflösung des Verbundes Rohr-Schaum-Mantelrohr forciert. Wie am Feuchteinbruch in Folge einer Leckage am Medienrohr wird durch den Feuchtefehler auch hier die eigentliche Leckageüberwachung der übrigen Rohrabschnitte außer Funktion gesetzt.

In den Rohrleitungsnetzen sind die Voraussetzungen zum Einsatz der Meßverfahren, die auf dem Nachweis von Feuchtigkeit in der Ummantelung beruhen, in vielen Fällen schon geschaffen. Zu diesem Zweck werden z.T. schon werkseitig im Hartschaum beiderseits der Rohre sogenannte Überwachungsdrähte bzw. metallische Leiter angeordnet, die bei der Verlegung der Rohre in den Muffen der Schweißnähte durchgeschleift und bis zu den Hausanschlüssen weitergeführt werden, wo sie jederzeit zugänglich sind.

Eine bisher bekannte Möglichkeit der Detektion der Feuchtigkeit erfolgt durch Messung des Gleichstromwiderstandes zwischen den beiden Überwachungsdrähten. *Lokal vorhandenes Wasser vermindert wegen seiner, wenn auch geringen Ionenkonzentration durch gelöste Salze, den Isolationswiderstandes des Hartschaums.* Dieser Ohm'sche Widerstand wird über die Überwachungsdrähte von der Einspeisestelle aus gemessen. Im Fall der trockenen und somit fehlerfreien Leitung liegt der gemessene Widerstand im M Ω -Bereich und wird durch die Ableitungsverluste im Isolierschaum begrenzt. Im Fall der feuchten Leitung stellt der gemessene Widerstand den Summenwert des Drahtwiderstandes über die Länge bis zur Feuchtestelle und des dortigen Übergangswiderstandes zwischen den Drähten dar. Dieses Verfahren besitzt eine hohe Nachweisempfindlichkeit und arbeitet ab Widerständen unterhalb 500 k Ω . Allerdings ist nur eine ja/nein-Entscheidung, ob Feuchtigkeit vorhanden ist oder nicht, möglich.

Auch wird die sogenannte Zeitbereichsreflektometrie zur Lokalisierung von Feuchtigkeitsstellen eingesetzt. An der Einspeisestelle, am Hausanschluß oder an der freigelegten Rohrmuffe im Erdreich, wird auf die Überwachungsdrähte ein Spannungsimpuls gegeben, der sich entlang der Drähte ausbreitet, am Ort der Feuchtigkeit wegen des Sprungs der elektrischen Leitfähigkeit reflektiert wird und zur Einspeisestelle zurückläuft. Die Empfindlichkeit des Verfahrens ist geringer als die der Gleichstrom-Widerstands-Messung, da sich Störungen bedingt durch Reflexionen über die gesamte Leitungslänge addieren und den Rauschuntergrund anheben. Das Verfahren arbeitet erst ab größeren Feuchtigkeitsgehalten zuverlässig. Die gemessene Laufzeit des Spannungspulses ist ein Maß für die Rohrlänge zwischen dem Leck, an dem die Reflektion stattgefunden hat und der Einspeisestelle. Die Umsetzung der Laufzeitmessung in eine Ortsbestimmung ist nur dann möglich, wenn der Verlauf der Rohrleitungen im Erdboden genau bekannt ist. Abgesehen davon, daß bei der Rohrverlegung immer mehr oder weniger große Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Verlauf der Rohre bestehen, ist auch bei gut dokumentierter Isometrie die Lokalisierung der Schadenstelle aus großem Abstand, bspw. einige hundert Meter zwischen Einspeisestelle und Feuchtestelle, so ungenau, daß meist großflächige Erdaushübe mit möglicherweise mehrmaligen Zielversuchen notwendig sind, um die Schadensstelle für die Reparatur freizulegen. Dadurch entstehen enorme Kosten, insbesondere dann, wenn sich die Schadensstelle unter einer Beton- oder Asphaltdecke befindet. Hier wird von den Betreibern der Fernwärmenetze sowie von den Verlegern und Herstellern der Rohre ein Verfahren gefordert, das eine punktgenaue Ortung der Schadenstelle leistet.

Auf dem Wirbelstromverfahren basieren die handelsüblichen Metalldetektoren und induktiven Näherungsschalter. Das zu detektierende Prüfobjekt wird in den Wirkungsbereich eines von Wechselstrom durchflossenen Wirbelstromsensors, im einfachsten Fall eine Spule, gebracht. Falls das Prüfobjekt ein metallischer Leiter, Halbleiter oder Ionenleiter, also elektrisch leitfähig ist, werden in diesem durch das magnetische Wechselfeld, das den Sensor umgibt, Wirbelströme induziert, deren Intensität von den elektrischen, magnetischen und geometrischen Parametern des Prüfobjektes abhängt. Die Wirbelströme sind ihrerseits mit einem magnetischen

Sekundärfeld verkettet, das sich mit dem primären Sensorfeld zu dem magnetischen Gesamtfeld überlagert und sich in der Impedanz, der sogenannte Wechselstromwiderstand des Sensors abbildet und gemessen wird.

Mit diesem Verfahren gelingt es, den Verlauf der erdverlegten Rohrleitungen exakt zu verfolgen, indem der Operator von einer bekannten Startstelle aus mit einer manuellen oder mechanisiert durchgeführten Schwenkbewegung des Sensors über den Erdboden den Ort der maximalen Wechselwirkung, d.h. den geringster Abstand zwischen Sensor und Rohrleitung feststellt und in Verfolgung dieses Ortes entlang der Rohrleitung fortschreitet. Damit kann die Unsicherheit der Lokalisierung der Schadenstelle in der Querrichtung zum Rohrverlauf verringert werden. Die Ortung der Schadenstelle in Längsrichtung der Rohrleitung ist jedoch nicht möglich. So reicht wegen der großen Erdüberdeckung die Meßempfindlichkeit nicht aus, um Korrosion im Rohr oder der Schweißnaht direkt zu detektieren (klassische Wirbelstrom-Fehlerprüfung). Die Meßeffekte eines fehlerfreien und eines schadhaften Rohrs unterscheiden sich im Rahmen der Schwankungsbreite der wirksamen Störparameter, wie Tiefenlage, Rohrwandstärke, Schweißnahtausbildung, Bodenfeuchtigkeit u.a. nur wenig.

Obwohl das Verfahren grundsätzlich geeignet ist, Feuchtigkeit und Gradienten derselben im Erdboden festzustellen, ist es zum anderen nicht möglich, zu unterscheiden, ob sich die festgestellte Feuchtigkeit als Kennzeichen einer Schadenstelle im Inneren des Rohrmantels oder außerhalb im umgebenden Erdreich befindet, wo sie stets mehr oder weniger ausgiebig vorhanden ist. Der Wirbelstromsensor erfaßt mit seinem Wirkungsbereich gleichzeitig das Innere und das Äußere der Rohrummantelung. Eine Verbesserung des lateralen Auflösungsvermögens ist wegen der großen Tiefenlage und des damit verbundenen relativ großflächigen Sensors nicht möglich.

Bei dem bekannten Verschiebungsstrom-Verfahren handelt es sich um das dielektrische Analogon zum magnetischen Wirbelstromverfahren. Als kapazitive Sensoren kommen hierbei Metallelektroden vielfältiger Form in Betracht. Das

Verfahren ist empfindlich auf die dielektrischen Eigenschaften (ϵ_r) des Prüfobjektes. Im vorliegenden Fall sind dies die Dielektrizitätskonstanten des Isolierschaums, des Erdbodens und insbesondere die des dort zu detektierenden Wassers. Wie im Fall des Wirbelstromverfahrens reicht das laterale Auflösungsvermögen nicht aus, um zu unterscheiden, ob sich die detektierte Feuchtigkeit innerhalb oder außerhalb des Rohrmantels befindet. Metallflächen oder -körper, die sich im Wirkungsbereich des kapazitiven Sensors befinden, bewirken Abschirmeffekte und sind Ursache von Störsignalen.

Darstellung der Erfindung

Es besteht daher die Aufgabe ein Verfahren zur Detektion von Fehlerstellen, insbesondere Feuchtestellen innerhalb eines mit einer Ummantelung versehenen Leitungssystems, insbesondere Fernwärmerohr, in dessen Ummantelung beabstandet vom Leitungssystem wenigstens ein Draht längs zum Leitungssystem verlaufend angeordnet ist, derart weiterzubilden, dass eine exakte Lokalisierung von Fehlerstellen entlang des Leitungssystems mit möglichst einfachen Mitteln ohne großen arbeitstechnischen Aufwand zuverlässig möglich sein soll.

Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Maßnahmen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung zu entnehmen.

Erfindungsgemäß wird bei dem Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 Wechselstrom in das Leitungssystem sowie in den wenigstens einen Draht oder in zwei oder mehr zueinander beabstandet verlaufende Drähte eingespeist. Ferner wird das durch den Wechselstrom durch das Leitungssystem und den Draht oder durch die Drähte erzeugte Magnetfeld längs des Leitungssystems orts aufgelöst detektiert und schließlich wird auf Grundlage des detektierten Magnetfeldes eine Magnetfeldauswertung durchgeführt wird, mittels der die Fehlerstellen lagegenau detektierbar sind.

In den meisten Leitungssystemen von Fernwärmerohren sind zwei parallel zueinander verlaufende Überwachungsdrähte innerhalb der Kunststoffummantelung gezogen. Die nachfolgenden Betrachtungen gehen zunächst von dieser Fallkonstellation aus, doch werden auch hiervon abweichende Systeme behandelt.

Wie in der Einleitung zum Stand der Technik beschrieben ist bei der Gleichstrommessung der an der Einspeisestelle gemessene Widerstand rein reell, wobei Strom und Spannung entlang der gesamten Zweidrahtleitung in Phase sind. Demgegenüber treten im Wechselstromfall induktive und kapazitive Widerstandskomponenten hinzu. Der an der Einspeisestelle gemessene Widerstand ist somit komplex – man spricht in diesem Zusammenhang auch von dem Wechselstromwiderstand oder auch von der Impedanz -, so daß sich eine entsprechende Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung einstellt.

In der einzigen Figur ist hierzu ein Ersatzschaltbild dargestellt, das eine Zweidrahtleitung mit Wechselstromspeisung und einer Feuchtestelle als Fehlerstelle zeigt. Die Zweidrahtleitung versinnbildlicht die Anordnung einer Fernwärmerohrleitung innerhalb deren Ummantelung zwei parallel verlaufende Überwachungsdrähte vorgesehen sind. Beide Überwachungsdrähte sind gegenseitig durch den innerhalb der Kunststoffummantelung eingebrachten Hartschaumes elektrisch isoliert. Nun wird eine Wechselstromspannung U_{\sim} an die Zweidrahtleitung angelegt, die in Verbindung mit der Gesamtimpedanz Z_L der Leitungsanordnung zu einem Wechselstrom I_{\sim} führt. Für die Gesamtimpedanz Z_L gilt somit:

$$Z_L = R_Q + s(2R_{\text{Draht}} + j\omega L_{\text{Draht}}) + R_{\text{Feuchte}} / (j\omega s L_{\text{Draht}})$$

mit	R_Q	Innenwiderstand der Spannungsquelle
	s	Abstand zwischen Einspeisestelle und Feuchtestelle
	R_{Draht}	Ohm'scher Widerstand des Überwachungsdrahts mit der Länge 1 m
	j	imaginäre Einheit
	ω	Kreisfrequenz der angelegten Wechselspannung
	L_{Draht}	Induktivität einer Zweidrahtleitung
	R_{Feuchte}	Übergangswiderstand zwischen den beiden Überwachungsdrähten an der Feuchtestelle

s_L	Gesamtlänge der Zweidrahtleitung
C_{Draht}	Kapazität der Zweidrahtleitung

Auf folgende Besonderheiten sei an dieser Stelle in Verbindung mit der als Ersatzschaltbild gezeigten Rohrleitung mit zwei parallel dazu verlaufenden Überwachungsdrähten hingewiesen:

- Zur Ermittlung der Gesamtkapazität Z_L geht in den Kapazitätswert des Drahtes die Gesamtlänge s_L der Rohrleitung ein. Diese Kapazität liegt parallel zum Übergangswiderstand R_{Feuchte} im Bereich der Feuchtigkeitsstelle. Das bedeutet, daß nach der Feuchtestelle der Stromfluß nicht vollständig zurückgeht, sondern ein kapazitiver Strom bis zum Rohrleitungsende bestehen bleibt.
- Von besonderer Bedeutung ist, dass an der Feuchtestelle nicht nur ein Sprung der Stromamplitude, sondern auch der Phase auftritt. Während sich vor der Feuchtestelle die Phase des Stromes entsprechend vorstehender Impedanzbeziehung als Funktion der angegebenen Parameter einstellt, ist nach der Feuchtestelle die Phase zwischen Strom und Spannung stets 90° .
- In die Widerstands- bzw. Stromausbildung geht lediglich die Feuchtigkeit zwischen der Zweidrahtleitung ein. Die Feuchtigkeit im umgebenden Erdreich außerhalb des Rohrmantels bleibt stromfrei und somit ohne Einfluß auf den Leitungsstrom.
- Auch die Rohrleitung bleibt ohne Einfluß, da kein Strom zwischen ihr und der Zweidrahtleitung fließt.
- Sind auf der Rohrleitung mehrere Feuchtestellen vorhanden, so wird die Gesamtleitung in mehrere Einzelabschnitte mit jeweils nur einer Feuchtestelle aufgespalten, für die sich die Lastwiderstände gemäß vorstehender Beziehung und den in den Teilabschnitten gegebenen Parametern ergeben. Der Gesamtwiderstand der Strecke bis zur letzten Feuchtestelle berechnet sich als Parallelschaltung der Impedanzen der Einzelabschnitte. Das bedeutet, daß der Strom entlang der Strecke nach jeder Feuchtestelle stufenweise zurückgeht. Die Stufenamplitude ist abhängig von den Verhältnissen der Übergangswiderstände an den verschiedenen Feuchtestellen.

Wie eingangs erwähnt, sind nicht bei allen Rohrleitungssystemen zwei getrennt verlaufende Überwachungsdrähte vorgesehen, sondern bei einigen Hersteller ist nur ein einziger Überwachungsdraht im Hartschaum verlegt. Dort ist es in Ermangelung des zweiten Drahtes notwendig, die Stromeinspeisung zwischen dem Leitungsrohr selbst, das in aller Regel aus einem elektrisch leitendem Material besteht, und diesem einzigen Überwachungsdraht vorzunehmen. Abgesehen von der Unsymmetrie zwischen dem großkalibrigen Leitungsrohr und dem relativ dünnen Überwachungsdraht ergeben sich prinzipiell die gleichen Widerstands- und Stromverhältnisse wie bei der Zweidrahtleitung.

Auch in Systemen mit zwei Überwachungsdrähten kann es sinnvoll sein, die unsymmetrische Einspeisung zu realisieren, insbesondere dann, wenn unklare Erdungsverhältnisse im Rohrleitungsnetz vorliegen.

Zusammengefaßt liegen bei der Wechselstromanregung entlang den Überwachungsleitungen als Funktion der Einflußparameter große Signalgradienten bezüglich der Stromamplitude und der Stromphase vor. Diese Situation ist vom Standpunkt der Informationstheorie günstig und steht im Gegensatz zur bekannten Gleichstromanregung bei der nur ein skalares Amplitudensignal ohne Phasenvariation vorliegt.

Wird im Wechselstromfall jedoch nur an der Einspeisestelle der komplexe Gesamtwiderstand der Leitung als integraler Wert gemessen, dann geht auch bei der Wechselstromanregung ein großer Teil der entlang der Leitung verfügbaren Information verloren.

Deshalb wird beim erfindungsgemäßen Verfahren im zweiten Schritt die bei Wechselstromanregung vorliegende umfangreiche Amplituden- und Phaseninformation als Funktion des Ortes entlang der Leitung abgefragt. Als Informationsträger wird das Magnetfeld genutzt, das mit dem Leitungsstrom verkettet ist und den Leiter auf geschlossenen Bahnen umgibt. Zentral über dem Mittelpunkt zwischen den beiden Überwachungsdrähten, der i.a. mit der Rohrposition

übereinstimmt, ist in jedem Abstand über der Leitung die Amplitude und Phase des Magnetfeldes das exakte Abbild der Amplituden- und Phasenverteilung des Stromes auf der darunterliegenden Leitung. Die gesuchte zentrale Abtastposition wird gleichsam dem Wirbelstromverfahren nachempfunden, indem der Operator in einer manuellen oder mechanisiert durchgeführten Schwenkbewegung des Sensors quer zum Rohrverlauf das Signalmaximum feststellt.

Die Auswertung, bspw. durch bloße Beobachtung der Signalveränderungen bezüglich Amplitude und Phase des Magnetfeldes beim Fortschreiten in Richtung des Rohrverlaufs führt zu jener Stelle, an der Feuchtigkeit im Inneren des Rohrmantels vorhanden ist. Solange sich der Operator zwischen der Einspeisestelle und der Feuchtestelle befindet, bleibt das Signalmaximum nahezu konstant. Wird die Feuchtestelle überschritten, bricht das Signalmaximum zusammen und die Phasenrichtung des rein kapazitiven Leitungsstroms wird angezeigt.

Die Abtastung des Magnetfeldes erfolgt wegen der Wechselstromanregung vorzugsweise mit einem induktiven Sensor, der wegen des großen Abstandes zwischen Sensor und Rohrleitung, typischerweise von bis zu 2 m, die hohe Anforderungen an die Signaldynamik erfüllt.

In einem letzten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Signalverarbeitung nachgeschaltet, welche die aufgenommenen Meßsignale derart aufbereitet, daß einem Operator die Interpretation der Meßsignale in einfacher, sicherer und nachvollziehbarer Weise ermöglicht wird. Dazu wird das komplexe Empfangssignal am Sensor, verstärkt und mittels eines Quadratur-Demodulators in zwei gleichgerichtete Signalkomponenten, dem sogenannten Real- und Imaginärteil der Empfangsspannung, umgesetzt, die letztendlich die Amplitude und Phase des Stroms auf der Leitung repräsentieren. Diese Vorgehensweise besitzt die folgenden Vorteile:

- Die Verstärkung und Gleichrichtung der Meßsignale kann extrem schmalbandig erfolgen. Typisch ist eine Bandbreite von 3 Hz bei einer

Anregungsfrequenz von 30 kHz. Dem entspricht eine relative Bandbreite von 100 ppm. Damit können eingestreute Störsignale wirkungsvoll unterdrückt werden. Störsignale können von Starkstrom- oder Datenleitungen mit großer Signalaktivität hervorgerufen werden, die nahe der Heizrohrleitung verlaufen und bisweilen in demselben Bodenkanal verlegt sind.

- Bestimmte, einstellbare Phasenrichtungen können ausgeblendet bzw. selektiert werden, um systematische Störsignale, wie z. B. die Meßeffekte der kapazitive Ableitungs- und Restströme nach hinter der Feuchtestelle zu unterdrücken.
- Die Phasenselektion kann vorzugsweise derart vorgenommen werden, daß am Signalausgang nur die reelle Signalkomponente angezeigt wird, die vom Querstrom hervorgerufen werden, der an der Feuchtestelle zwischen den Überwachungsdrähten fließt. Die Feuchtestelle macht sich im Idealfall als abrupter Signalabfall bemerkbar, wenn der Operator diese überschreitet und hinter sich läßt. Bei mehrfachen Feuchtestellen im Verlauf der Rohrleitung ist der Signalabfall beim Überschreiten der einzelnen Stellen weniger deutlich. Hier kann jedoch die zusätzlich auftretende Phasendrehung genutzt werden, um die Anzeige der Feuchtestelle zu bestätigen.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

Ein zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignetes Prüfgerät entsprechend besteht aus den folgenden Hauptkomponenten, die miteinander in Verbindung stehen bzw. kommunizieren:

- Wechselstrom-Generator mit Strombooster mit einstellbarer Frequenz im Bereich zwischen 10 kHz und 100 kHz mit einer Spannung bis $U_{\text{eff}} = 50 \text{ V}$ und einem Strom bis $I_{\text{eff}} = 1 \text{ A}$ am Ausgang. Ziel ist es, einen maximalen Strom auf die Leitung zu geben, der direkt proportional zu dem späteren Meßsignal ist. Der Strom wird durch die Ausgangsspannung am Strombooster begrenzt, die ihrerseits aus Sicherheitsgründen bei ungewolltem Berühren den genannten Maximalwert nicht überschreiten darf.

- Magnetfeldsensor zur Abtastung des Wechselfeldes, das die stromdurchflossene Zweidrahtleitung umgibt. Wegen der großen Tiefenlage der Drähte von bis 2 m unter der Erdoberfläche, ist eine hohe Meßempfindlichkeit gefordert, die mehr als zwei Größenordnungen unterhalb der Größenordnung des Erdmagnetfelds liegt. In Frage kommen alle bekannten Formen der induktiven Sensoren, die bezüglich der Tiefenreichweite zu optimieren sind, sowie, Fluxgate-, GMR- und SQUID-Sensoren. Der Magnetfeld-Sensor wird längs des Leitungsverlaufs fortbewegt und gleichzeitig quer zum Leitungsverlauf geschwenkt. Der Auslenkung in Querrichtung ist typisch ± 1 m und muß das Signalmaximum in dieser Richtung deutlich erkennen lassen. Damit gelingt es, in der Querbewegung den Verlauf der Leitung zu detektieren und zu verfolgen. Signifikante Signalveränderungen in der Längsbewegung kennzeichnen die Fehlerstelle. Beide Bewegungen können entweder durch Abschreiten und manuellen Schwenk des Sensors oder automatisiert mit einem fahrbaren Prüfsystem, bspw. auf Rädern rollend, sowie einem motorisch angetriebenen Schwenkarm, der den Sensor trägt, realisiert werden.
- Analog-Elektronik mit Verstärker und phasenselektiver Gleichrichter zur Aufbereitung der Sensor-Empfangsspannung. Wegen des geringen Signalpegels sollte eine hohe Verstärkung von bis zu 100 dB einstellbar sein. Aus dem gleichen Grund ist eine sehr geringe Signalbandbreite von typisch 3 Hz Bandbreite erforderlich, um eingestreute Störsignale sicher unterdrücken zu können. Dies kann durch einen schmalbandigen Quadratur-Demodulator oder eine PLL-Schaltung erreicht werden, die beide eine Synchronsignal-Verbindung zum Wechselspannungs-Generator an der Einspeisestelle benötigen. Das kann über Kabel, das der Operator beim Abschreiten der Leitung mitführt oder drahtlos über Funk und Telemetrie realisiert werden.
- Digitale Auswerteeinheit zur Aufbereitung und Darstellung der Prüfinformation für eine abgesicherte und nachvollziehbare Befundbewertung. Folgende Betriebsfunktionen sind erforderlich:
 - Umsetzung der verstärkten Sensor-Empfangsspannung in zwei Signalkomponenten, die das aufgenommene Magnetfeld gemäß seinem Real- und Imaginärteil repräsentieren.

- Phasendrehung in der Impedanzebene zur phasenselektiven Unterdrückung von Störsignalen, bspw. von kapazitiven Störeinflüssen.
- Hochpaßfilterung im Ortsbereich zur Unterdrückung von Einflußgrößen, die bezüglich des Ortes langsam veränderlich sind, wie z.B. veränderliche Tiefenlage der Rohrleitung.
- Darstellung der Meßsignale auf einem Display zur visuellen Beurteilung des Befundes, insbesondere zur Verfolgung des Verlaufs der Rohrleitung.
- Speicherung der Meßsignale zu Dokumentationszwecken auf einem Datenträger entlang der Leitungsstrecke.
- Interaktive Markiermöglichkeiten des Prüfortes durch Setzen von Zeitmarken bei der Datenaufzeichnung.
- Anbindung der Datenaufnahme an einen Weggeber, insbesondere bei Ausführung des Prüfsystems in einer fahrbaren Version.

Selbstverständlich ist das vorstehend erläuterte Verfahren, das auf der Grundlage der phasenselektiven und orts aufgelösten Magnetfeldabtastung beruht auch für die Detektion von Fehlerstellen ganz allgemeiner Art anwendbar, wie beispielsweise die Erkennung von Kabelbrüchen oder Kurzschlüssen zwischen zwei Kabeln. Ferner bietet das Verfahren auch ohne das Vorliegen von Fehlerstellen die exakte Ermittlung des Verlaufes eines Leitungssystems, das bspw. unter einer dicken Erdschicht vergraben verläuft. Dies ist insbesondere wichtig für die Planung und den Bau von Trassenverläufen in Bereichen, in denen bereits Leitungssysteme aller Art verlegt worden sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion von Fehlerstellen innerhalb eines mit einer Ummantelung versehenen Leitungssystems, innerhalb dessen Ummantelung beabstandet vom Leitungssystem wenigstens ein Draht längs zum Leitungssystem verlaufend angeordnet ist, dadurch **gekennzeichnet**, dass in das Leitungssystem und in den wenigstens einen Draht oder in zwei oder mehr zueinander beabstandet verlaufenden Drähte Wechselstrom eingespeist wird, dass das durch den Wechselstrom durch das Leitungssystem und den Draht oder durch die Drähte erzeugte Magnetfeld längs des Leitungssystems orts aufgelöst detektiert wird, und dass auf Grundlage des detektierten Magnetfeldes eine Magnetfeldauswertung durchgeführt wird, mittels der die Fehlerstellen detektierbar sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass Phase und Amplitude des Magnetfeldes längs zum Leitungssystem orts aufgelöst detektiert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Detektion des Magnetfeldes mithilfe eines Magnetfeldsensors durchgeführt wird, und dass der Magnetfeldsensor längs und quer zum Leitungssystem sowie zu den Drähten bewegt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Längs- und Querbewegung des Magnetfeldsensors relativ zum Leitungssystem manuell oder motorisch angetrieben erfolgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Magnetfeld mit einem induktiven Sensor *detektiert wird*.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass die am Magnetfeldsensor anliegenden Messsignale von bis zu 100 dB verstärkt und mit einer Bandbreite von ca. 3 Hz bandpaßgefiltert werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass zur Bandpaßfilterung ein schmalbandiger Quadratur-Demodulator oder eine PLL-Schaltung verwendet wird, der bzw. die durch den in das Leitungssystem und/oder die Drähte eingespeisten Wechselstrom getriggert wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Wechselstrom durch einen Wechselstromgenerator erzeugt wird, der über eine elektrische Leitung oder drahtlos über Funk und/oder Telemetrie mit dem Magnetfeldsensor in Verbindung steht.
9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass die verstärkten Messsignale in zwei Signalkomponenten aufgespalten werden, die das detektierte Magnetfeld gemäß seines Real- und Imaginärteils repräsentieren, dass eine Phasendrehung der Messsignale in der Impedanzebene durchgeführt wird, dass eine Hochpaßfilterung der örtlich erfassten Messsignale durchgeführt wird, und dass die Messsignale visuell oder akustisch umgesetzt werden zur Verfolgung des Leitungssystems und Detektion von Fehlerstellen innerhalb der Ummantelung des Leitungssystems.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Messsignale zu Dokumentationszwecken auf einen Datenträger orts aufgelöst abgespeichert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass die auf dem Datenträger abgespeicherten Messsignale markiert werden.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch **gekennzeichnet**, dass zur Einspeisung des Wechselstromes in das Leitungssystem und/oder in die Überwachungsdrähte ein Wechselstromgenerator verwendet wird, der Wechselstrom mit einer einstellbaren Frequenz zwischen 10 kHz und 100 kHz generiert mit einer Spannung U_{eff} von 50 V und einem Strom von bis zu $I_{\text{eff}} = 1 \text{ A}$.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Leitungssystem eine Elektrokabelanordnung ist.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Leitungssystem eine Rohrleitung oder ein Fernwärmerohr ist.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch **gekennzeichnet**, daß die zu detektierenden Fehlerstellen Feuchtestellen sind, die sich innerhalb der Ummantelung zwischen dem Leitungssystem und dem Draht ausbilden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch **gekennzeichnet**, daß die zu detektierenden Fehlerstellen Kurzschlussstellen sind, die sich zwischen dem Draht und dem Leitungssystem ausbilden.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch **gekennzeichnet**, dass die zu detektierenden Fehlstellen Drahtunterbrechungen sind, die entweder das Leitungssystem und/oder den Draht unterbrechen.

18. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17 zur Lokalisierung des örtlichen Verlaufes des Leitungssystems.

19. Mess- und Auswerteeinheit zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17,

dadurch **gekennzeichnet**,

- dass ein Wechselstrom-Generator mit Strombooster mit einstellbarer Frequenz im Bereich zwischen 10 kHz und 100 kHz mit einer Spannung bis $U_{\text{eff}} = 50 \text{ V}$ und einem Strom bis $I_{\text{eff}} = 1 \text{ A}$ am Ausgang vorgesehen ist, der mit dem Leitungssystem und/oder den Drähten verbindbar ist,
- dass ein Magnetfeldsensor zur Abtastung des Magnetwechselfeldes vorgesehen ist, das die stromdurchflossene Zweidrahtleitung umgibt,
- dass eine Analog-Elektronik mit Verstärker und phasenselektiver Gleichrichter zur Aufbereitung der Magnetfeldsensor-Empfangsspannung vorgesehen ist, und
- dass eine Auswerteeinheit zur Aufbereitung und Darstellung der Prüfinformation vorgesehen ist.

