



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 52 425 A1 2004.02.05**

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 52 425.4**
 (22) Anmeldetag: **12.11.2002**
 (43) Offenlegungstag: **05.02.2004**

(51) Int Cl.7: **G01V 3/08**
G01R 27/26

(66) Innere Priorität:
102 07 426.7 21.02.2002

(72) Erfinder:
Clauss, Stefan, 70771 Leinfelden-Echterdingen, DE; Skultety-Betz, Uwe, 70771 Leinfelden-Echterdingen, DE; Haase, Bjoern, 70182 Stuttgart, DE; Hoffmann, Ulli, 75223 Niefern-Öschelbronn, DE

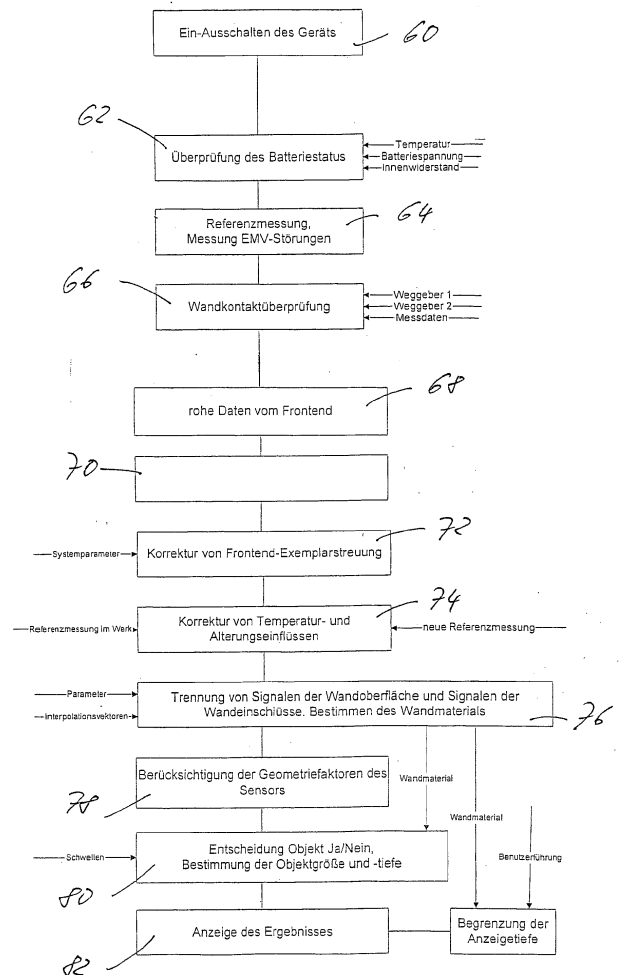
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Meßgerät zur Ortung eingeschlossener Objekte**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ortung von in einem Medium eingeschlossenen Objekten, bei welchem mittels zumindest einer kapazitiven Sensorvorrichtung ein Detektionssignal erzeugt wird, welches in das zu untersuchende Medium eingreift, so dass durch eine Auswertung des Detektionssignals, insbesondere durch eine Impedanzmessung, Informationen über in dem Medium eingeschlossene Objekte gewonnen werden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zur Erlangung einer Tiefeninformation über ein in dem Medium eingeschlossenes Objekt eine Phasenmessung einer mit einem Verschiebestrom der kapazitiven Sensorvorrichtung korrelierter Messgröße genutzt wird.

Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Messgerät zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren bzw. ein Meßgerät zur Ortung von in einem Medium eingeschlossenen Objekten nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs B.

Stand der Technik

[0002] Ein solches Verfahren bzw. ein Meßgerät zur Durchführung dieses Verfahrens nutzt eine kapazitive Sensorvorrichtung, die ein Detektionssignal, beispielsweise in Form eines elektromagnetischen Feldes erzeugt, so dass das Detektionssignal das zu untersuchende Medium durchgreift, zumindest jedoch in ausreichendem Maße in das Medium eingreift. Ein in dem Medium eingeschlossenes Objekt beeinflusst das Detektionssignal, so dass durch eine Auswertung dieses Detektionssignals Informationen über ein in dem Medium eingeschlossenes Objekt gewonnen werden können.

[0003] Ein gattungsgemäßes Meßgerät, beispielsweise ein Studsensor detektiert ein in einem Medium eingeschlossenes Objekt durch die Änderung der elektrischen Kapazität seiner kapazitiven Sensorvorrichtung, welche das eingeschlossene Objekt erzeugt. Ein in einem Medium eingeschlossenes Objekt ändert die dielektrischen Eigenschaften des Mediums, so dass ein in die Nähe des Objekts gebrachter Meßkondensator eine auf das Objekt zurückgehende Kapazitätsänderung bzw. eine Änderung seiner Impedanz erfährt. Diese Kapazitätsänderung läßt sich beispielsweise durch den Verschiebестrom des Meßkondensators der kapazitiven Sensorvorrichtung messen.

[0004] Aus der US 6,249,113 B1 ist ein kompakter, handgehaltener Studsensor bekannt, der zur Ortung eingeschlossener Objekte die Kapazitätsänderungen in einem Sensorschaltkreis detektiert, wenn das Meßgerät über eine Wand verfahren wird. Zur Anzeige des genauen Ortes an dem ein eingeschlossenes Objekt in dem Medium geortet wurde, besitzt das Meßgerät der US 6,249,113 B1 ein Array Von LEDs, welches pfeilförmig auf der Gehäuseoberfläche des Meßgerätes angeordnet ist. Wird ein Objekt von dem Meßgerät detektiert, so wird abhängig von der Signalstärke ein LED-Paar der pfeilförmigen LED-Anordnung auf dem Gehäuse des Meßgerätes aktiviert. Je näher man dem eingeschlossenen Objekt kommt, d.h. je stärker das vom Objekt erzeugte Detektionssignal ist, desto weiter wandern die aktivierten LEDs in die Pfeilspitze des LED Arrays. Befindet sich das Meßgerät letztendlich direkt über dem eingeschlossenen Objekt, so ist die Pfeilspitze des LED Arrays erleuchtet, so dass prinzipiell mit dem Meßgerät der US 6,249,113 B1 eine Lokalisierung von in einem Medium, beispielsweise einer Wand, eingeschlossenen Objekten möglich ist. Nicht möglich ist mit dem in

der US 6,249,113 B1 offenbarten Vorrichtung zur Ortung in einem Medium eingeschlossener Objekte sowie dem zugrundeliegenden recht einfachen Verfahren eine Messung der Tiefe in der das Objekt eingeschlossen ist.

[0005] Die WO 94/04932 offenbart eine tragbare Vorrichtung zur Ortung hinter einer Oberfläche positionierter Gegenstände mit einem Sensor zur Detektion einer durch das Objekt hervorgerufenen zusätzlichen Kapazität, mit einer Auswerteeinheit für das Detektionssignal sowie mit einem Display zur Darstellung der Meßergebnisse. Das Meßgerät der WO 94/04932 besitzt darüber hinaus eine Vorrichtung, die es erlaubt die Sensorvorrichtung in einem hochsensitiven bzw. in einem weniger sensitiven Mode zu betreiben.

[0006] Die WO 94/04932 offenbart darüber hinaus ein Verfahren zur Bestimmung des Ortes eines hinter einer Oberfläche positionierten Objektes. Dazu wird das entsprechende Meßgerät über die zu untersuchende Wand verfahren. Der Sensor der WO 94/04932 hat die Möglichkeit einen Anstieg bzw. eine Verringerung der Dichte des Materials zu zensieren. Dies ermöglicht es der Anordnung, den Anwender beispielsweise darüber zu informieren, dass der Sensor falsch, beispielsweise direkt oberhalb eines Einschlusses kalibriert worden ist. Das zugrunde liegende Verfahren ermöglicht weiterhin, den Anwender davon in Kenntnis zu setzen, dass das untersuchte Medium zu dick bzw. zu dünn ist, ein eingeschlossenes Objekt zu detektieren.

[0007] Ein digitaler Speicher des Meßgerätes der WO 94/04932 ermöglicht es, das Kalibrierungsdaten so lange zu speichern, wie das Meßgerät eingeschaltet ist.

[0008] Aus der US 6,198,271 B1 ist ein Studsensor bekannt, der zur Ortung von in einer Wand eingeschlossenen Objekten die Kapazitätsänderungen von drei, meßgerätintegrierten kapazitiven Sensoren detektiert, während der Sensor über die Wand verfahren wird. Ein Auswertungsschaltkreis überwacht die relativen Zeiten, die zur Aufladung der drei kapazitiven Elemente notwendig sind, so dass während der Sensor über die zu untersuchende Wand verfahren wird, Änderungen in den relativen Kapazitäten der drei Sensorelemente aufgrund einer vom eingeschlossenen Objekt verursachten Änderung der Dielektrizitätskonstanten des untersuchten Materials gemessen werden können. Die Vergleichsschaltung nutzt diese Änderungen in den gemessenen relativen Kapazitäten der einzelnen Sensorelemente um das eingeschlossene Objekt zu lokalisieren.

[0009] Das Meßgerät der US 6,198,271 B1 weist eine Anzeige bestehend aus einer Mehrzahl von Anzeigeelementen auf, die derart mit der Auswerteeinheit des Meßgerätes verschaltet sind, dass nur diejenigen Elemente ein Signal anzeigen, die direkt oberhalb des georteten Objektes sich befinden. Auf diese Weise ist es möglich, das Meßgerät über dem georteten Objekt zu zentrieren und das Objekt dadurch in-

direkt zu lokalisieren.

Aufgabenstellung

Vorteile der Erfindung

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ortung von in einem Medium eingeschlossenen Objekten nutzt ein von einer kapazitiven Sensorvorrichtung erzeugtes Detektionssignal, welches in das zu untersuchende Medium eingreift und durch ein im Medium vorhandenes Objekt beeinflusst wird. Durch eine Auswertung des Detektionssignals bei Vorhandensein eines eingeschlossenen Objektes im Vergleich zu einem Detektionssignal, wie es sich ergäbe bei abwesendem Objekt, lassen sich Informationen über das im Medium eingeschlossene Objekt gewinnen. Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt zur Detektion des eingeschlossenen Objektes die Kapazitätsänderung einer kapazitiven Sensorvorrichtung, die sich durch die Änderung der Dielektrizitätskonstanten des vermessenen Mediums durch das eingeschlossene Objekt ergibt. Die Änderung der Dielektrizitätskonstanten läßt sich durch die Messung der Impedanz zwischen den Elektroden der kapazitiven Sensorvorrichtung bestimmen.

[0011] Erfindungsgemäß ist im vorgeschlagenen Verfahren vorgesehen, dass zur Erlangung einer Tiefeninformation über das in dem Medium eingeschlossene Objekt eine Phasenmessung, insbesondere eine Phasenmessung einer mit einem Verschiebestrom der kapazitiven Sensorvorrichtung korrelierten Meßgröße genutzt wird.

[0012] Legt man eine Spannung zwischen den Elektroden der kapazitiven Sensorvorrichtung an, so resultiert ein elektrisches Streufeld das sich in einem Bereich ausserhalb der Elektroden erstreckt und somit in ein zu untersuchendes Objekt eingreifen kann. In vorteilhafter Weise lässt sich solch einem Feld auch eine gewünschte Richtcharakteristik aufprägen. Legt man zwischen die Elektroden der Sensorvorrichtung insbesondere eine Wechselfeldspannung an, so fließt zwischen den Elektroden entlang der elektrischen Feldlinien, welche die beiden Elektroden verbinden, ein Verschiebestrom. Dieser Verschiebestrom ist bei fester Spannung um so größer, je geringer die Impedanz des Meßkondensators bzw. um so größer seine Kapazität ist. Ein im Bereich der Feldlinien befindliches Objekt führt zu einer Änderung der Impedanz zwischen den Sensorelektroden und somit zu einem veränderten Verschiebestrom. Mißt man nun nicht nur den Betrag des Verschiebestromes sondern zusätzlich auch seine Phase, so läßt sich zusätzlich zur reinen Lokalisierung eines eingeschlossenen Objektes auf der Oberfläche des einschließenden Mediums auch eine Information über die Tiefe des eingeschlossenen Objektes hinter der Oberfläche des Mediums gewinnen.

[0013] Es ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch möglich, eine Unterscheidung durchzuführen

zwischen Objekten, die dielektrisch dichter (z.B. Kupferkabel) als das einschließende Medium und andererseits Objekten mit im Vergleich zum einschließenden Medium geringerer Dielektrizitätskonstanten ϵ (beispielsweise Kunststoffrohre). Im ersten Fall werden die Verschiebestrome durch das eingeschlossene Objekt verstärkt, im zweiten Fall verringern sich diese. Es ergibt sich damit eine um 180° geänderte Phasenlage, so dass eine eindeutige Identifizierung der Objekte bezüglich der Größe ihrer Dielektrizitätskonstanten möglich ist.

[0014] Durch die in den weiteren Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen und Merkmalen sind vorteilhafte Verbesserungen und Weiterbildungen des in Anspruch 1 angegebenen Verfahrens möglich.

[0015] Die durch ein eingeschlossenes Objekt hervorgerufene Änderung des Verschiebestromes, bzw. die Änderung der Kapazität der Sensorvorrichtung läßt sich an Hand von verschiedensten elektronischen Schaltungen ausmessen. In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird in vorteilhafter Weise nicht direkt der Verschiebestrom zur Auswertung des Detektionssignals gewählt, sondern in vorteilhafter Weise eine Meßgröße, die in linearem Zusammenhang zum Verschiebestrom der kapazitiven Sensorvorrichtung steht. Dadurch, dass nicht direkt der Verschiebestrom sondern eine Meßgröße M gemessen wird ist es möglich, Störungen des Meßsignals, die beispielsweise aus Übersprecheffekten oder Phasenverzerrungen aufgrund der Frequenzcharakteristik der Auswerteschaltung resultieren aus dem Meßsignal herauszurechnen.

[0016] Prinzipiell ist jede elektrische Meßgröße geeignet, welche in beliebiger Form mit der Impedanz des Sensorelementes verknüpft ist. Die Änderung des Verschiebestromes, bzw. die Änderung der Kapazität der Sensorvorrichtung läßt sich an Hand von verschiedensten elektronischen Schaltungen messen. Beispielsweise läßt sich die Eigenfrequenz eines Schwingkreises, welcher aus dem Meßkondensator und einer dazu in Serie oder parallel geschalteten Spule gebildet wird vermessen. Nach Anregung mit einem kurzen elektrischen Impuls wird ein solcher Schwingkreis eine gedämpfte Schwingung auf seiner Resonanzfrequenz ausführen. Das zeitaufgelöste Vermessen dieser Resonanz ermöglicht somit Rückschlüsse auf die beteiligten Verschiebestrome. In vorteilhafter Weise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung der durch ein eingeschlossenes Objekt hervorgerufenen Impedanzänderungen eine elektrische Spannung innerhalb einer Auswerteschaltung für das Detektionssignal gemessen. Diese Spannungswerte lassen sich in einfacher Weise durch eine entsprechende Abtastschaltung bezüglich ihres Betrages und ihrer Phasen mit hoher Genauigkeit bestimmen.

[0017] Durch die Verwendung eines Detektionssignales, welches mehrere Frequenzen aufweist, bzw. durch ein spektral breites Detektionssignal läßt sich insbesondere das Signal-Rausch-Verhältnis der

Messung verbessern. Darüber hinaus ergibt sich durch die Messung und Auswertung bei mehr als einer Frequenz die Möglichkeit das geortete, eingeschlossene Objekt hinsichtlich seiner Metall-Nichtmetall-Eigenschaften zu unterscheiden. Bei Verwendung mehrerer Meßfrequenzen ist es alternativ auch möglich, mehrere Ziele in unterschiedlicher Tiefe gleichzeitig zu erkennen, obwohl deren Signale sich überlagern. Dieser Fall würde bei einer rein monofrequenten Messung zu einer Verfälschung der Messergebnisse führen. Darüberhinaus ermöglicht ein spektral breiter elektrische Impuls als Anregungssignal Uneindeutigkeiten der Phasenmessung durch den Vergleich der Messergebnisse bei verschiedenen Frequenzen zu vermeiden.

[0018] Um auch geringste Kapazitätsänderungen durch kleine, eingeschlossene Objekte bzw. Objekte, deren Dielektrizitätskonstante sich nur unwesentlich von der Konstanten des umgebenden Materials unterscheidet detektieren zu können, ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen, Meßfrequenzen zu benutzen, die typischerweise in einem Intervall von 100 MHz bis 10.000 MHz liegen. In vorteilhafter Weise werden vorzugsweise Meßfrequenzen für das Detektionssignal benutzt, die in einem Intervall zwischen 1000 MHz und 5000 MHz liegen. Optimale Messfrequenzen für das erfindungsgemäße Verfahren beziehungsweise ein dieses Verfahren anwendendes Messgerät bilden Frequenzen in einem Intervall zwischen typischerweise 1500 MHz und 3500 MHz.

[0019] Diese hohen Frequenzen ermöglichen selbst bei sehr geringen Kapazitätsänderungen aufgrund eines eingeschlossenen Objektes hinreichend große Änderungen des Verschiebestromes, so dass solche Kapazitätsänderungen sowie die sie erzeugenden Objekte mit einer entsprechend hohen Empfindlichkeit gemessen werden können. Andererseits erfordern solch hohe Frequenzen einen entsprechend komplexe Messtechnik. Während bei niedrigen Frequenzen die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung am kapazitiven Sensorelement 90° beträgt, beobachtet man bei höheren Frequenzen aufgrund von induktiven Effekten Abweichungen dazu. Zusätzlich zur beobachteten Änderungen des Imaginärteils der Impedanz können abhängig von der Dämpfung des Dielektrikums des Meßkondensators bei höheren Frequenzen auch bedeutende ohmsche Anteile in der Impedanz beobachtet werden. Diese induktiven Störeffekte lassen sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch eliminieren, dass nicht direkt der dielektrische Verschiebestrom der kapazitiven Sensorvorrichtung gemessen wird, sondern eine mit diesem Verschiebestrom in linearer Weise korrelierte Meßgröße. Die frequenzabhängigen Konstanten, die das Verhältnis des dielektrischen Verschiebestromes zur im erfindungsgemäßen Verfahren gemessenen Meßgröße M festlegen, sind unabhängig meßbar, so dass sich zwei Freiheitsgrade zur Kompensation von Störeffekten ergeben. So können

diese Koeffizienten durch Referenzmessungen an definierten Impedanzen bestimmt werden und dem erfindungsgemäßen Verfahren bei der Auswertung zur Verfügung gestellt werden.

[0020] In vorteilhafter Weise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren das Detektionssignal zur Ortung eines in einem Medium eingeschlossenen Objektes als Funktion der lateralen Verschiebung der das Detektionssignal erzeugenden kapazitiven Sensorvorrichtung auf der Oberfläche des einschließenden Mediums ausgewertet. Auf diese Weise ist es zum einen möglich, den Ort des eingeschlossenen Objektes, d.h. seine laterale Lage in dem einschließenden Medium sehr genau zu vermessen, andererseits gestattet eine Messung der Sensorsignale als Funktion der lateralen Verschiebung des Sensors über das Objekt hinweg, die Meßgenauigkeit weiter zu erhöhen. Je nach Verschiebung des Sensors wird ein anderes Ensemble von Feldlinien des elektrischen Messfeldes der kapazitiven Sensorvorrichtung durch das Objekt beeinflusst. Es ergibt sich somit für die Phasenlage des Meßsignals eine charakteristische Abhängigkeit von der Tiefe des Objektes sowie von der lateralen Verschiebung.

[0021] Auch kann die ortaufgelöste Messung des Detektionssignales genutzt werden, um das Untergrundsignal, dass allein von dem einschließenden Medium herrührt besser zu diskriminieren.

[0022] Über eine Schwellwertsensorik die beispielsweise auch abhängig vom Material des einschließenden Mediums sein kann, läßt sich so in vorteilhafter Weise für das erfindungsgemäße Verfahren ein Entscheidungsschritt realisieren, der zu dem Ergebnis kommt, ob ein eingeschlossenes Objekt vorliegt oder nicht.

[0023] Ebenso läßt sich durch das Verschieben der kapazitiven Sensorvorrichtung, die in vorteilhafter Weise dazu mit einer Wegsensorik gekoppelt ist, über den Abfall der Signalstärke ein Maß für die Objektgröße gewinnen, so dass mit dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht nur die laterale Position des Objektes in dem Medium, seine Tiefe relativ zur Oberfläche des Mediums sondern darüber hinaus auch noch Angaben zur Objektgröße gemacht werden können.

[0024] In vorteilhafter Weise läßt sich das erfindungsgemäße Verfahren für eine kapazitive Sensorvorrichtung eines Meßgerätes einsetzen, das der Ortung von in Medien eingeschlossenen Objekten dient. Insbesondere ist es möglich mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens ein kompaktes, handgehaltenes Ortungsgerät zu realisieren, das die Detektion von Einschlüssen beispielsweise in Wänden, Decken und/oder Böden mit einer hohen Genauigkeit ermöglicht.

[0025] Ein solches erfindungsgemäßes Meßgerät weist neben einer entsprechenden kapazitiven Sensorvorrichtung und den Mitteln zur Erzeugung und Auswertung eines Detektionssignals dieser Sensorvorrichtung in vorteilhafter Weise eine Ausgabeein-

heit beispielsweise ein Display auf, das es ermöglicht die ermittelten Meßergebnisse, insbesondere den Ort und die Tiefe eines in dem Medium eingeschlossenen Objektes orts aufgelöst auf der Anzeigevorrichtung des Meßgerätes darzustellen. Dazu ist ein solches Meßgerät mit einer Steuer- und Auswerteeinheit zu versehen, die mit der Sensorvorrichtung in Verbindung steht und Mittel aufweist, die es in vorteilhafter Weise ermöglichen die orts aufgelösten Meßergebnisse in Echtzeit, also noch während das Meßgerät beispielsweise über eine Wand verfahren wird, auf dem Display des Meßgerätes direkt anzuzeigen.

[0026] Das erfindungsgemäße Meßgerät bzw. das zugrundeliegende erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht dem Anwender eine genaue Lokalisierung eines in einem Medium eingeschlossenen Objektes in allen drei Dimensionen des Raumes. Darüber hinaus ist es möglich, mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Informationen über die Größe des eingeschlossenen Objektes zu erhalten.

Ausführungsbeispiel

Zeichnung

[0027] In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, das in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert werden soll. Die Figuren der Zeichnung, deren Beschreibung sowie die auf das erfindungsgemäße Verfahren bzw. das dieses Verfahren nutzende Meßgerät gerichteten Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Ein Fachmann wird diese Merkmale auch einzeln betrachten und so zu weiteren sinnvollen Kombinationen zusammenfassen.

[0028] Es zeigen:

[0029] **Fig. 1** eine schematische Darstellung der dem erfindungsgemäßen Verfahren zugrundeliegenden Meßsituation,

[0030] **Fig. 2** ein Blockschaltbild zur Impedanzmessung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren,

[0031] **Fig. 3** eine symbolische Darstellung der Temperaturabhängigkeit des ausgewerteten Messsignals $M(\omega)$,

[0032] **Fig. 4** ein Blockdiagramm zur Darstellung von Verfahrensschritten zur Aufnahmen von Referenzwerten,

[0033] **Fig. 5** ein Blockdiagramm zur Darstellung der Verfahrensschritten des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Beschreibung eines Ausführungsbeispiels

[0034] **Fig. 1** zeigt die schematische Darstellung einer typischen Meßsituation zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. zur Nutzung des erfindungsgemäßen Meßgerätes. Ein in einem Medium **10** eingeschlossenes Objekt **12** soll mit Hilfe einer kapazitiven Sensorvorrichtung **14** detektiert werden. Das eingeschlossene Objekt **12** befindet sich in ei-

nem Abstand d von einer Oberfläche **16** des einschließenden Mediums **10**. Ein Meßgerät **18**, welches u.a. den kapazitiven Sensor **14** enthält, wird auf die Oberfläche **16** des das Objekt **12** einschließenden Mediums **10** aufgebracht. Die kapazitive Sensorvorrichtung **14** besteht im Wesentlichen aus einem Meßkondensator **20** der zwei Kondensatorelektroden **22** bzw. **24** aufweist. Lediglich zur grafischen Verdeutlichung des Meßprinzips sind diese Kondensatorelektroden **22** und **24** in der **Fig. 1** nebeneinander gezeichnet. In einer realen kapazitiven Sensorvorrichtung werden die Elektroden eines Meßkondensators im Wesentlichen parallel zueinander angeordnet sein. Die gewünschte Richtwirkung des elektrischen Feldes des Messkondensators **20** wird durch entsprechende Elektroden oder geometrische Mittel erzeugt.

[0035] Durch Anlegen einer elektrischen Spannung **26** wird ein elektrisches Feld **28** zwischen den Elektroden **22** bzw. **24** des Meßkondensators **20** des Meßgerätes **18** erzeugt. Legt man an die beiden Elektroden des Meßkondensators insbesondere eine Wechselspannung an, so fließt zwischen den Kondensatorelektroden entlang der das elektrische Feld **28** beschreibenden Feldlinien **30** ein sogenannter Verschiebestrom. Dieser Verschiebestrom I ist bei fester Spannung U um so größer, je geringer die Impedanz, d.h. der komplexe Widerstand Z des Meßkondensators **20** ist. Der Verschiebestrom I kann beispielsweise direkt über eine Amperemeter **21** oder auch über eine mit dem Verschiebestrom korrelierten Messgröße M , wie beispielsweise einem Spannungssignal gemessen werden.

[0036] Die Impedanz Z des Meßkondensators **20** wird im Wesentlichen bestimmt durch die zwischen den Kondensatorelektroden **22** bzw. **24** befindliche Materie. Wird ein solcher Meßkondensator **20** nun in die Nähe eines eingeschlossenen Objektes **12** gebracht, so ändert sich die Zusammensetzung der Materie in dem vom elektrischen Feld **28** überstrichenem Bereich. Insbesondere ergibt sich durch ein eingeschlossenes Objekt **12** eine geänderte Dielektrizitätskonstante ϵ und damit eine geänderte Impedanz Z im Vergleich zu einem Medium **10** ohne eingeschlossenem Objekt **12**.

[0037] Die durch das eingeschlossene Objekt **12** verursachte Änderung der Dielektrizitätskonstanten sowie die damit einhergehende Änderung der Impedanz Z des Meßkondensators entspricht einer geänderten Kapazität C des Meßkondensators.

[0038] Die Vergrößerung der Kapazität C des Meßkondensators **20** bzw. die daraus resultierende Vergrößerung des Verschiebestromes I zwischen den Kondensatorelektroden ist in **Fig. 1** durch eine Vergrößerung der Feldliniendichte in der Darstellung des elektrischen Feldes **28** im Feldlinienbild verdeutlicht.

[0039] Das Einbringen eines Materials mit einer größeren Dielektrizitätskonstanten ϵ als der entsprechenden Konstanten des umgebenden Mediums **10** in den vom kapazitiven Sensor **14** erzeugten Feldbe-

reich **28** führt zu einer Verdichtung der Feldlinien, ein Objekt mit geringerer Dielektrizitätskonstante als das umgebende Material führt im Bereich des eingeschlossenen Objektes zu einer Reduzierung der Feldliniendichte.

[0040] Die Kapazitätsänderung aufgrund eines eingeschlossenen Objektes bzw. die Veränderung des Verschiebestromes am kapazitiven Sensor läßt sich an Hand von verschiedenen elektronischen Schaltungen messen und auswerten.

[0041] Beispielsweise kann die Eigenfrequenz eines Schwingkreises, welcher gebildet wird durch dem Meßkondensator und mindestens einer dazu in Reihe oder parallel geschalteten Spule genutzt werden. Nach Anregung durch einen kurzen elektrischen Impuls wird ein solcher Schwingkreis eine gedämpfte Schwingung seiner Resonanzfrequenz ausführen. Ein zeitaufgelöstes Vermessen dieser Resonanzfrequenz ermöglicht damit Rückschlüsse auf die beteiligten Kapazitäten und somit auf den Verschiebestrom.

[0042] Alternativerweise ist eine direkte Vermessung des Verschiebestroms durch den Meßkondensator bei Anlegen einer konstanten Wechselspannung fester Frequenz möglich.

[0043] Im erfindungsgemäßen Verfahren wird nicht direkt der elektrische Verschiebestrom I der kapazitiven Sensorvorrichtung **14** gemessen, sondern zur Auswertung des Detektionssignals wird eine frequenzabhängige Meßgröße M vermessen, die in nahezu linearer Abhängigkeit zum Verschiebestrom der kapazitiven Sensorvorrichtung steht. Als Messgröße M wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren insbesondere eine mit der Verschiebestrom korrelierte elektrische Spannung vermessen. D.h. es gilt für die genutzte Meßgröße M :

$$M = M(\omega) = \alpha(\omega) + \beta(\omega) \cdot I(\omega)$$

Die komplexe Meßgröße $M(\omega)$ wird in linearer Näherung des Verschiebestromes $I(\omega)$ des Meßkondensators ausgewertet. Dabei beschreibt $\alpha(\omega)$ ein internes Übersprechen der Kondensatorelektroden und $\beta(\omega)$ berücksichtigt die Frequenzcharakteristik sowie Phasenverzerrungen auf den elektrischen Leitungen innerhalb der Auswerteschaltung und des Anpaßnetzwerk der kapazitiven Sensorvorrichtung.

[0044] $\alpha(\omega)$ und $\beta(\omega)$ sind frequenzabhängige Konstanten, die unabhängig meßbar sind. Diese können beispielsweise durch eine Referenzmessung an definierten Impedanzen sehr genau bestimmt werden, so dass durch die Messung von M auch der Verschiebestrom gemessen wird.

[0045] **Fig. 2** zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine Auswerteschaltung, wie sie im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens genutzt werden kann. Ein von einer Zeitbasis **32** gesteuerter Pulsgenerator **34** erzeugt einen zeitlich kurzen, spektral breiten Spannungsimpuls der über einen Wellenkoppler **36** in die kapazitive Sensorvorrichtung **14** eingespeist

werden kann. Die Kapazität des Meßkondensators **20** und damit die Impedanz Z des Sensors sind abhängig vom dielektrischen Medium, welches das elektrische Feld der Kondensatorelektroden durchdringt.

[0046] Wird die kapazitive Sensorvorrichtung in die Nähe eines Objektes **12** gebracht so kommt es zu Feldverzerrungen des elektrischen Feldes aufgrund der geänderten Dielektrizitätskonstanten des Kondensatorfeldes. Die Impedanz Z wird dadurch geändert und ist über den Verschiebestrom beziehungsweise die abgeleitete Messgröße $M(\omega)$ messbar. Die Impedanz des kapazitiven Sensors wird als ein zeitabhängiges Spannungssignal $U(t)$ durch den Richtkoppler **36** wieder ausgekoppelt, verstärkt und einer Abtasteinheit **40** zugeführt, in der der Betrag und die Phase des Messsignales bestimmt wird, was im Folgenden etwas genauer beschrieben wird.

[0047] An dem Punkt an dem der Messsensor **14** an die wellenwiderstandsrichtig abgestimmte Leitung angeschlossen wird, erfolgt eine mehr oder weniger ausgeprägte Reflexion der vom Generator über den Wellenkoppler **36** eingekoppelten Spannungen. Die Amplitude und Phase des an diesem Punkt reflektierten Signals spiegelt die Differenz der Impedanz Z des Sensors **14** und Leitungswellenwiderstand wieder und gestattet, auf Betrag und Phase der Impedanz des Sensors **14** zurückzuschließen und somit Betrag und Phase des Stromflusses durch den Sensor **14** zu bestimmen.

[0048] Die Bestimmung von Betrag und Phase des Stromflusses durch den Sensorkondensator **14** kann daher auf die Bestimmung von Betrag und Phase der am Anschlusspunkt des Sensors **14** reflektierten Spannung U zurückgeführt werden.

[0049] Die am Anschlusspunkt reflektierten Signale laufen über den Wellenkoppler zurück. Die durch das Übersprechen im Wellenkoppler **36** im Sendezweig induzierten Signale sind im Vergleich zu den direkt in Richtung des Detektionszweiges rücklaufenden Signalanteile vernachlässigbar.

[0050] Die am Eingang der Detektionsschaltung anliegende Spannung V spiegelt, abgesehen von den geringfügigen Verlusten am Wellenkoppler **36** und der Laufzeitdifferenz, die am Anschlusspunkt des Sensors **14** reflektierte Spannung U wieder.

[0051] Die sich hinter dem Wellenkoppler **36** ergebende (in der Regel geringe) Spannung wird im Detektionszweig vorteilhaft zunächst in einem Hochfrequenzverstärker **38** verstärkt. Anschließend erfolgt eine Abtastung der Spannung zu definierten Zeitpunkten T . Die Zeitpunkte zu denen die Spannung gemessen wird, werden dabei durch einen Abtastpuls vorgegeben. Um eine Bestimmung der Phase der reflektierten Spannung relativ zur Phase der vom Generator erzeugten Spannung zu ermöglichen, ist es wichtig, dass der Generator des Sendesignals und der Generator des Abtastpulses phasenstarr gekoppelt sind. Dies wird durch Einsatz der Zeitbasis sichergestellt.

[0052] Die bei der Frequenz f am Abtastglied anliegenden Spannungsteile

$$V(f) = v(f) \cdot \exp(i\phi(f))$$

hängen gemäß der Beziehung

$$W(T) = \operatorname{Re}(\exp(i \cdot 2\pi \cdot f \cdot T) \cdot V(f))$$

mit der hinter dem Abtastglied gemessenen Spannung $W(T)$ zusammen. Ein Verschieben des Abtastzeitpunktes T gestattet somit auf Betrag und Phase der Spannung V bei der Frequenz f zurückzuschließen.

[0053] Die Spannung W wird vorteilhaft zunächst in einem Niederfrequenzverstärker verarbeitet um anschließend in einem Analog-Digital-Wandler erfasst zu werden. Durch Vermessung der Spannung W zu verschiedenen Zeitpunkten T ist es somit möglich, neben der Amplitude auch die Phase der reflektierten Spannungsteile zu ermitteln und somit auf Betrag und Phase der im Sensor fließenden Ströme zurückzuschließen.

[0054] Nach dem Analog-Digitalwandler **44** wird das Messsignal an einen Digitalen Signalprozessor **46** weitergeleitet.

[0055] Das DSP-Element **46** übernimmt sowohl weitere Signalverarbeitung als auch die Steuerung der Zeitbasis zur Erzeugung sowohl des Anregeimpulses als auch des Abtastimpulses. Das DSP-Element **46** ermöglicht es, die ausgewerteten Meßwerte, d.h.

[0056] insbesondere die Tiefe des eingeschlossenen Objektes in der Wand, sowie dessen laterale Position relativ zum Meßsensor, in Echtzeit, d.h. noch während des Meßvorganges, auf einem Display **48** wiederzugeben. Auf diese Weise ist es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren möglich bereits während das Gerät noch über beispielsweise eine Wand verfahren wird, einem Anwender im Display zu zeigen, wo und in welcher Tiefe der Wand Objekte eingeschlossen sind.

[0057] Zur Gewinnung der lateralen Ortsposition kann die kapazitive Meßvorrichtung in zwei entgegengesetzte Richtungen **50** bzw. **52** über das zu untersuchende Medium verfahren werden. Eine entsprechende Wegsensorik, die die aktuelle Position der kapazitiven Sensorvorrichtung an den digitalen Signalprozessor weiter reicht, ermöglicht die korrelierte Darstellung sowohl der Objektiefe als auch der lateralen Position des Objektes.

[0058] Für das erfindungsgemäße Verfahren ist vorgesehen, dass zu Kalibrierungszwecken anstelle des Meßkondensators **20** eine definierte Referenzimpedanz **54** gemessen werden kann. Dazu besitzt die elektrische Schaltung zur Erzeugung und Auswertung des Detektionssignales Schaltmittel, die im Ausführungsbeispiel der **Fig. 2** als symbolischer Schalter **56** dargestellt sind. Diese Schaltmittel ermöglichen es, den Anregungsimpuls nicht in den Meßkondensa-

tor **20**, sondern zur Referenzimpedanz **54** umzuleiten. Diese definierte Referenzimpedanz **54** kann beispielsweise durch Kurzschließen der Signalleitung erzeugt werden. Eine andere Möglichkeit zur Realisierung einer geräteinternen definierten Impedanz ist beispielsweise ein „offenes Ende“ der Signalleitung. Auf diese Weise besitzt das erfindungsgemäße Verfahren bzw. das erfindungsgemäße Meßgerät eine verfahrensinterne bzw. geräteinterne Kalibriervorrichtung mit der es den zugrunde liegenden Verfahrenen möglich ist, beispielsweise thermische Driften rechnerisch zu kompensieren.

[0059] So ist es insbesondere möglich durch die Kalibrierungsmessung an der definierten Impedanz **54** die durch das elektrische Netzwerk beeinflussten Konstanten $\alpha(\omega)$ und $\beta(\omega)$, die den Zusammenhang zwischen dem elektrischen Verschiebestrom I der kapazitiven Sensorvorrichtung und der gemessenen Größe $M(\omega)$ herstellen, zu bestimmen und auftretende Driften des Meßsignals $M(\omega)$ gegenüber dem Verschiebestrom $I(\omega)$ nach einer solchen Referenzmessung zu kompensieren.

[0060] Wesentliche Drifteffekte ergeben sich vor allem aus Temperaturänderungen und Alterungsprozessen der beteiligten Komponenten. So kann es beispielsweise auch zu zusätzlichen Zeitverzögerungen δT zwischen dem Anregungs- und dem Abfrageimpuls kommen, was zu Verzerrungen des niederfrequenten Signales führen würde. Da solch eine zusätzliche Zeitverzögerung bei dem fouriertransformierten Messsignal $M(\omega)$ lediglich zu einem multiplikativen Faktor führt, lässt sich solch eine Drift der Abtastzeitpunktes noch relativ einfach aus dem Datensatz herausrechnen.

[0061] Des Weiteren kann die Pulsleistung sowie die spektrale Form speziell des Anregungsimpulses einer thermischen Drift unterworfen sein. Eine Drift der Frequenzcharakteristik des Hochfrequenzverstärkers lässt sich durch eine solche Referenzmessung ebenfalls kompensieren.

[0062] Zur Kompensation von Veränderungen im Gerät, also beispielsweise temperaturbedingten Driften wird eine lineare Korrekturfunktion für das Meßsignal benutzt. **Abb. 3** zeigt in schematischer Weise den Temperatureinfluß auf die Meßgröße $M(\omega)$. Die Meßgröße $M(\omega)$ unterliege einer starken temperaturabhängigen Änderung. So zeigt die Kurve **56** das frequenzabhängige Messsignal $M(\omega)$ bei einer Temperatur von 20°C . Die ebenfalls dargestellte Messkurve **58** gibt das gemessene Signal $M(\omega)$ bei einer Temperatur von -10°C wieder. Dass der Auswertung des Meßsignals zugrundeliegende Verfahren geht nun von einer linearen Abhängigkeit der beiden Messkurven bei unterschiedlicher Temperatur aus.

[0063] Zur Kompensation dieses Temperatureffektes werden daher zwei Korrekturfaktoren $\gamma_0(\omega)$ sowie $\gamma_1(\omega)$ um den Zusammenhang der unter Kalibrierungsbedingungen (z.B. 20°C) gemessenen Meßgröße $M(\omega)$ zur Meßgröße $M(\omega)$, wie sie sich bei einer Vorort-Messung einstellt, d.h. es gilt beispielsweise:

$$M^{-10^\circ}(\omega) = \gamma_0(\omega) \cdot (M^{20^\circ}(\omega)) + \gamma_1(\omega)$$

So wird beispielsweise für das erfindungsgemäße Verfahren die Meßgröße $M(\omega)$ für Kalibrierungsbedingungen d.h. bei definierter Temperatur und einer Referenzimpedanz, die beispielsweise durch Luftmessung, einen Kalibrierstein oder einen kurzgeschlossenen Sensor realisiert sein kann, gemessen.

[0064] Wird nun unter realen Betriebsbedingungen vor Ort eine Kalibrierung mit der gleichen definierten Impedanz, also wiederum eine Luftmessung, eine Messung an einem Kalibrierstein bzw. eine Messung mit einem kurzgeschlossenen Sensor durchgeführt, so kann aus dem nun aufgrund von Drifffekten veränderten Meßwert $M(\omega)$ auf die Korrekturkonstanten $\gamma_0(\omega)$ und $\gamma_1(\omega)$ geschlossen werden. Die so ermittelten Korrekturgrößen werden in einer Speichereinheit abgelegt, so dass sie bei einer späteren Signalauswertung abgerufen werden können.

[0065] Wird eine Kalibrierung mit definierter Impedanz vor der eigentlichen Messung zur Ortung eines eingeschlossenen Objektes durchgeführt, lassen sich die mit der Kalibrierung aktuell gewonnenen Korrekturgrößen $\gamma_0(\omega)$ und $\gamma_1(\omega)$ auch zur Korrektur der Meßgröße $M(\omega)$ beim eigentlichen Meßvorgang nutzen.

[0066] Auf diese Weise ist es dem erfindungsgemäßen Verfahren möglich, Effekte, die in verfälschender Weise auf die zu verarbeitende Meßgröße einwirken, aus dem gemessenen Meßsignal herauszurechnen. Zu diesen allgemein als Drifffekten bezeichneten Einflüssen auf die Meßgröße der kapazitiven Sensorvorrichtung gehören insbesondere Temperaturänderungen, Änderungen in der Feuchte, Änderungen, die hervorgerufen werden durch die Alterung von Bauteilen sowie auch Änderungen durch eine Variation der Versorgungsspannung des Meßgerätes. So kann beispielsweise das Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Meßgerätes in Form eines handgehaltenen, batteriebetriebenen Meßgerätes ein Abfall der Batteriespannung noch über einen gewissen Zeitraum kompensiert werden, ohne dass diese Spannungsvariation zu einem deutlichen Einfluß auf die Qualität der Meßergebnisse führen würde.

[0067] Neben den beschriebenen Drifffekten führen auch Exemplarstreuungen einzelner Bauteile zu einer unterschiedlichen Meßcharakteristik jedes einzelnen Meßgerätes, die über die beschriebene Korrekturfunktion kompensiert werden kann. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht somit die Kompensation von Drifffekten oder auch von Exemplarstreuungen durch den Vergleich eines im Gerät gespeicherten Referenzsignals mit einem zum Meßzeitpunkt aufgenommenen Kalibriersignal. Durch diese Vergleichsmessung läßt sich eine lineare Korrekturgröße für das Meßsignal ermitteln, die es dem erfindungsgemäßen Verfahren ermöglicht, die aktuell vor Ort gemessenen Meßwerte auf Referenzbedingungen zurückzurechnen.

[0068] Insbesondere ist es vorteilhaft eine Referenzmessung direkt nach Fertigung eines Gerätes, beispielsweise noch im Werk unter definierten Kalibrierungsbedingungen durchzuführen. Diese Messung kann dann später mit den eigentlichen Ortungsmessungen vor Ort abgeglichen werden.

[0069] Auch ist es möglich eine solche Referenzmessung, die ein definiertes Meßsignal $M(\omega)$ ergibt mittels eines "Master-Meßgerätes" durchzuführen und die für das "Master-Gerät" ermittelten Referenzwerte in Form eines Kennfeldes in weitere Meßgeräte direkt nach der Fertigung einzuspielen. In diesem Fall wäre es auch möglich beispielsweise Exemplarstreuungen der Richtcharakteristik des elektrischen Feldes des Meßkondensators der Einzelgeräte zu kompensieren.

[0070] Unterschiedliche Richtcharakteristiken aufgrund von mechanischen bzw. geometrischen Unterschieden der Kondensatorelektroden bzw. entsprechender Richtelektroden für das elektrische Meßfeld bedeuten Unterschiede bezüglich des detektierten Ortes für ein eingeschlossenes Objekt und machen die Vergleichbarkeit der mit verschiedenen Geräten gewonnenen Meßdaten schwierig.

[0071] **Fig. 4** zeigt an Hand eines Blockdiagrammes den Ablauf der Messung von Referenzwerten, die beispielsweise bereits direkt nach der Fertigung des erfindungsgemäßen Gerätes noch im Werk gemessen in einem Speicherelement des Meßgerätes abgelegt werden können. Im Schritt 90 wird eine Benutzerführung in ein Speicherelement des erfindungsgemäßen Meßgerätes eingeschrieben, die als animierte Filmsequenz auf einem Display des Meßgerätes wiedergebbar ist, und so dem Benutzer die zur Kalibrierung des Meßgerätes vor Ort durchzuführenden Verfahrensschritte näherbringt.

[0072] Im Verfahrensschritt **92** werden Referenzmessungen durchgeführt und im Gerät abgespeichert, die dazu dienen die geräteindividuellen Systemparameter zu bestimmen. Dazu wird das an definierten Impedanzen vermessene Meßsignal ausgewertet und eine Korrekturfunktion linearer Ordnung für jedes einzelne Meßgerät erstellt. Mit Hilfe dieser Korrekturfunktion ist es möglich Exemplarstreuungen, beispielsweise der mechanischen Ausführung der kapazitiven Sensorvorrichtung aus dem späteren vor Ort gemessenen Signal herauszurechnen.

[0073] In Verfahrensschritt **92** wird das Meßgerät auf verschiedene definierte Untergrundmaterialien eingemessen. Die Meßwerte dieser Referenzmessungen, beispielsweise an Luft, Beton, Metall sowie Ytong und weiterer verbreiteter Baumaterialien werden im Gerät abgespeichert. An Hand der bekannten Dielektizitätskonstanten dieser definierten Materialien lassen sich die durch das Detektionsnetzwerk bedingten Konstanten $\alpha(\omega)$ sowie $\beta(\omega)$, die den Zusammenhang zwischen dem dielektrischen Verschiebestrom der kapazitiven Sensorvorrichtung und dem zur Auswertung herangezogenen Meßsignal $M(\omega)$ bilden bestimmen. Durch eine solche Referenzmes-

sung ist es also möglich, die Signalverzerrungen, die aufgrund von Phasenverzerrungen sowie der Frequenzcharakteristik der Signalleitungen, bzw. ein internes Übersprechen zwischen den Elektroden des Meßkondensators sich einstellen zu bestimmen. Auf diese Weise ist es möglich bei einer späteren Bestimmung des Meßsignals $M(\omega)$ vor Ort mit Hilfe der dann bekannten Koeffizienten $\alpha(\omega)$ bzw. $\beta(\omega)$ sehr genau auf den zugrunde liegenden dielektrischen Verschiebestrom zurückzuschließen.

[0074] In Verfahrensschritt **92** werden ebenfalls Interpolationsparameter für das im Verfahren zugrundegelegte Modell des einschließenden Mediums gewonnen. Das erfindungsgemäße Verfahren benutzt ein numerisches Modell für das einschließende Medium, welches mehrere Materialparameter definierender Referenzmaterialien benutzt. Durch eine Vergleichsoptimierung zwischen dem vor Ort gemessenen Signal des umgebenden Mediums mit den Parametern des im Meßgerät abgelegten Modells ist es möglich, die dielektrischen Eigenschaften des gemessenen umgebenden Mediums sehr genau zu bestimmen. Im Wesentlichen wird eine Interpolation der dem Modell zugrundeliegenden Referenzparameter auf den vor Ort gemessenen Wert des einschließenden Mediums genutzt.

[0075] In Verfahrensschritt **96** wird eine Bestimmung eines Geometriefaktors der kapazitiven Sensorvorrichtung durchgeführt. Dazu wird ein Referenzsignal an einem definierten räumlich sehr begrenzten Referenzkörper, der in einem bekannten Medium eingeschlossen ist, vermessen. Aufgrund von mechanischen oder geometrischen Abweichungen der Elektroden der kapazitiven Sensorvorrichtung kann es zu Unterschieden in der Richtcharakteristik des Meßkondensators kommen, so dass eine Unsicherheit in der genauen Bestimmung des Ortes des eingeschlossenen Gegenstandes die Folge wäre. In Verfahrensschritt **96** werden daher Korrekturparameter zur Berücksichtigung der Abweichungen der Richtcharakteristik einzelner Meßgeräte für jedes einzelne Meßgerät ermittelt und in diesem Meßgerät abgelegt, so dass der auswertende Algorithmus diese Parameter abrufen und berücksichtigen kann.

[0076] Verfahrensschritt **98** der in **Fig. 4** gezeigten Werkseinstellung von Referenzwerten für das erfindungsgemäße Verfahren bzw. das erfindungsgemäße Meßgerät ermittelt aus den durchgeführten Referenzmessungen Schwellwerte für die Objektdetektion. Mit Hilfe dieser Schwellwerte entscheidet der verarbeitende Algorithmus ob ein Objekt als detektiert oder nicht gilt. Diese Schwellwerte sind abhängig von der Meßgenauigkeit jedes einzelnen Gerätes sowie auch von entsprechenden Exemplarstreuungen.

[0077] Verfahrensschritt **100** der **Fig. 4** bezeichnet das Ablegen zuvor ermittelten Einstellungen in einem Speicherelement des erfindungsgemäßen Meßgerätes. Mit Hilfe dieser abgelegten Referenzwerte und einer vor der eigentlichen Messung vor Ort durchzuführenden Kalibrierungsmessung ist es möglich,

Störeinflüsse auf das Meßsignal weitgehendst auszuschalten, so dass ein extrem genauer Meßsensor realisiert werden konnte. Dabei ist besonders hervorzuheben, dass beispielsweise auch Kunststoffrohre mit diesem Meßsensor erkannt werden können. Wesentlichen Einfluß auf die erhöhte Leistungsfähigkeit des erfindungsgemäßen Meßgerätes bzw. des zugrundeliegenden erfindungsgemäßen Verfahrens hat die Aufnahme einer Vielzahl von Referenzwerten, die es ermöglichen Störeffekte bei der späteren Signalauswertung herauszurechnen.

[0078] Ein zentraler Punkt des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, das auszuwertende Meßsignal $M(\omega)$ in zwei Anteile aufzuspalten. Das Meßsignal $M(\omega)$ wird in einen Untergrundanteil $UG(\omega)$, der von dem einschließenden Medium herrührt und in einen Einschlußanteil $E(\omega)$, der aus einem eingeschlossenen Objekt resultiert, aufgeteilt.

[0079] Einschlußsignal als auch Untergrundsignal sind aufgrund der Messung der Signalgröße $M(\omega)$ sowohl in Phase als auch Amplitude bekannt. Dabei ist zu beachten, dass das durch dielektrische Einschüsse vermittelte Einschlußsignal $E(\omega)$ extrem klein ist. Kapazitätsänderungen, welche es aufgrund eines eingeschlossenen Objektes zu bestimmen gilt, liegen bei dielektrischen Einschüssen, wie beispielsweise Kunststoffrohren typischerweise im Subpikofarad-Bereich. Diese kleinen Änderungen resultieren bei einer angelegten Wechselspannung an den kapazitiven Sensor von beispielsweise einem Volt und einer Meßfrequenz von 100 KHz somit in Differenzen des Verschiebestroms von weniger als einem Mikroampere.

[0080] Aus diesem Grunde wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Meßfrequenz im Gigahertzbereich genutzt, um selbst für geringste Kapazitätsänderungen aufgrund eines eingeschlossenen Objektes noch hinreichend große Änderungen im Meßsignal zu erzeugen. Das Untergrundsignal bezeichnet dabei das Signal, welches sich ohne Vorhandensein von Objekten ergebe. Es kann beispielsweise direkt neben einem Einschluß gemessen werden. Erfindungsgemäß wird ausgenutzt, dass das Untergrundsignal dominiert wird von Anteilen des Verschiebestromes welches durch die oberflächennahen Bereiche des elektrischen Meßfeldes erzeugt werden. Im Folgenden sei vorausgesetzt, dass das Untergrundsignal $UG(\omega)$ bekannt ist. Das Untergrundsignal $UG(\omega)$ setzt sich aus Verschiebestromen $I_v(\omega)$ entlang der Feldlinien v des elektrischen Feldes des Meßkondensators zusammen. Die einzelnen Feldlinien v haben, wie beispielsweise der **Fig. 1** zu entnehmen ist, unterschiedliche Längen. Man kann somit eine mittlere Feldlinienlänge L definieren, welche die Phase des Verschiebestromes angibt. Alle Phasen werden im Folgenden relativ zu dieser mittleren Phase angegeben. Bringt man einen dielektrischen Einschluß in die Nähe der Meßelektroden der kapazitiven Sensorvorrichtung, so verändert sich die Stromverteilung des Verschiebestromes. In der Pra-

xis kann man voraussetzen, dass diese Änderung durch ein eingeschlossenes Objekt klein ist, d. h. es gilt:

$$E(\omega) \ll UG(\omega).$$

[0081] Man kann daher näherungsweise annehmen, dass der Einfluß des dielektrischen Einschlusses zu einer Verstärkung oder zu einer Schwächung des Verschiebestroms I_v entlang einzelner Feldlinien v mit der Länge L_v führt. D. h. es gilt:

$$I_v(\omega)(\text{mit Einschluss}) = \xi \cdot I_v(\omega)(\text{Untergrund}) \cdot \exp(i \cdot 2\pi/\lambda(\omega) \cdot (L_v - L))$$

Hierbei bezeichnet f einen reellen Verstärkungs- oder Schwächungsfaktor. Ist die Dielektrizitätskonstante ϵ des Einschlusses größer als das ϵ des umgebenden Mediums, so gilt $\xi > 1$. Die Kapazität des Meßkondensators wird erhöht und der Verschiebestrom wird vergrößert. Andernfalls gilt $\xi < 1$. Ist der Einschluss klein genug, so dass nur Feldlinien einer bestimmten Länge L_v betroffen sind, so gilt näherungsweise:

$$E(\omega) = (I_v(\omega)(\text{mit Einschluss}) - I_v(\omega)(\text{Untergrund})) = (1 - \xi) \cdot \exp(i \cdot 2\pi/\lambda(\omega) \cdot (L_v - L)) \cdot I_v(\omega)(\text{Untergrund})$$

Ist Art des Einschlusses bekannt, beispielsweise ein metallischer Einschluss bzw. ein Hohlraum, so ist das Vorzeichen von $(1 - f)$ bekannt.

[0082] Es gilt dann:

$$2\pi/\lambda(\omega) \cdot (L_v - L) = -\Phi(\omega) + \Psi(\omega)$$

D.h. aus einem Vergleich der Phase des Signals $E(\omega)$ mit der Phase des Untergrundsignals $UG(\omega)$ läßt sich an Hand der Beziehung:

$$\lambda(\omega)/2\pi \cdot (-\Phi(\omega) + \Psi(\omega)) + L = L_v$$

auf die Länge der betroffenen Feldlinien L_v zurück schließen. Die Länge der betroffenen Feldlinien hängt über einem Geometriefaktor $G(\omega, L)$ mit der Tiefe des Objektes zusammen.

[0083] In der Praxis führt das Gerät eine Mittelung über ein Ortsintervall $[x, y]$ durch in dem überwiegend keine Einschlüsse vorhanden sind. So ergibt der räumliche Mittelwert von $MW_M(\omega)$ einen brauchbaren Ansatzpunkt für die Untergrundkomponente. Das heisst, wenn die Messgröße $M(X_j, \omega)$ an n Orten X_j erfasst wurde, so ist zur Bestimmung der Untergrundkomponente für alle j über $M(X_j, \omega)$ zu summieren und mit $1/N$ zu normieren.

[0084] Als mögliche Erweiterung dieses grundlegenden Mittelungsverfahrens ist es vorteilhaft, Bereiche mit starken Signalveränderungen, das heisst, großen Abweichungen vom Mittelwert aus der Mittelwertbildung auszuschließen oder die Bildung des Mittelwerts durch die Bildung des Medians der Mess-

daten über den Ort zu ersetzen.

[0085] Es ist weiterhin möglich, anstelle der Mitteilung über verschiedene Orte, im Speicher abgelegte tabellierte Untergrundsignale $MUG(\omega)$ heranzuziehen. Ist beispielsweise bekannt, dass es sich beim Untergrund um Beton handelt, so ist es möglich, im Speicher abgelegte Messwerte $MUGBETON(\omega)$, wie sie sich für einen homogenen Betonblock ergeben als Untergrundsignal zu verwenden. Die Auswahl des abziehenden gespeicherten Untergrundsignals kann sowohl automatisch, z.B. anhand eines Vergleichs eines geschätzten Untergrundsignals mit verschiedenen tabellierten Untergründen, oder mittels eines vom Benutzer zu bedienenden Schalters erfolgen.

[0086] Für den Untergrund wird ein numerisches Model benutzt, welches mindestens vier Materialparameter, beispielsweise die Dielektrizitätskonstanten von bekannten Werkstoffen benutzt. Dem Model zugrundegelegt ist das Reflexionsverhalten elektromagnetischer Signale an dielektrischen Grenzschichten. Zur Ermittlung des Materials des gemessenen einschließenden Mediums wird die Gewichtung der Parameter im Model des einschließenden Mediums solange variiert, bis durch eine Vergleichsoptimierung in dem gemessenen Untergrundsignal möglichst nahekommendes Modellsignal rekonstruierbar ist. Aufgrund einer Interpolation der Parameter des Modelmediums kann somit auf die Dielektrizitätskonstante des gemessenen einschließenden Mediums geschlossen werden. Bei Kenntnis der Dielektrizitätskonstanten des einschließenden Mediums läßt sich aus der Phaseninformation des Meßsignals, welches ausgeht vom eingeschlossenen Objekt, auf die Tiefe des eingeschlossenen Objektes im einschließenden Medium zurückschließen.

[0087] Erfindungsgemäß ist bei dem beschriebenen Verfahren vorgesehen, dass die Schwelle zur Detektion eingeschlossener Objekte variierbar ist. Durch eine Empfindlichkeitseinstellung ist es möglich, beispielsweise unrelevante Objekte insbesondere mit einer periodischen Struktur aus dem Meßsignal herauszurechnen, so dass dieses bei einer späteren optischen Anzeige der Meßergebnisse nicht mehr in Erscheinung tritt. Auch ist es durch das erfindungsgemäße Verfahren möglich, aufgrund eines gewählten speziellen Bereichs von Phasenverschiebungen des Meßsignals eine Beschränkung des Meßbereichs auf einen gewünschten Tiefenbereich zu erzeugen. Auf diese Weise läßt sich die Selektion eines speziellen begrenzten Tiefenbereichs realisieren. Die angezeigte Meßtiefe in der optischen Wiedergabe des Displays des erfindungsgemäßen Meßgerätes läßt sich zwischen verschiedenen Werten (beispielsweise 6 bzw. 10 cm) umschalten.

[0088] **Abb. 5** zeigt zur Übersicht ein Blockdiagramm zur Verdeutlichung der einzelnen Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0089] Nach dem Einschalten des Gerätes in Schritt 60 erfolgt eine Systemabfrage für das Meßgerät. Die

Systemabfrage **62** überprüft beispielsweise den Batteriestatus (Batteriespannung), den Innenwiderstand der Batterie sowie die vorliegende Temperatur. Anschließend wird in Schritt **64** eine Referenzmessung an einer definierten Impedanz durchgeführt. Dazu kann beispielsweise eine geräteinterne Referenzvorrichtung genutzt werden oder es kann auch eine Luftmessung durchgeführt werden. Diese Referenzmessung wird auch durchgeführt zur Bestimmung von EMV-Störungen, beispielsweise durch benachbarte Sendeanlagen. Solche EMV-Störungen lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren später aus dem Meßsignal herausrechnen.

[0090] In Schritt **65** des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt eine Wandkontaktüberprüfung, bei der durch Abfrage der entsprechenden Weggeber des erfindungsgemäßen Meßgerätes sichergestellt wird, dass das Meßgerät vorschriftsmäßig auf der zu untersuchenden Wand aufgesetzt ist. Alternativerweise kann der Wandkontakt auch durch die Auswertung des Messsignals der kapazitiven Sensorvorrichtung abgefragt werden. Ermittelt das Messgerät als umgebendes Medium Luft, so kann das Gerät nicht auf der Wand aufgesetzt sein.

[0091] Anschließend erfolgt der eigentliche Meßvorgang bei dem in Verfahrensschritt **68** Rohdaten der kapazitiven Sensorvorrichtung gemessen und an den digitalen Signalprozessor weitergeleitet werden. In Verfahrensschritt **70**, der den Beginn der Auswertung des Meßsignals darstellt, werden Störsignale durch extern Störquellen aus den Rohdaten herausgerechnet. Anschließend erfolgt in Verfahrensschritt **72** eine erste Korrektur des Meßsignals aufgrund von Exemplarstreuungen. Dazu wird der werksseitig durch eine Referenzmessung ermittelte geräteindividuelle Systemparameter, d.h. die entsprechenden Korrekturkoeffizienten berücksichtigt und das Meßsignal in beschriebener, linearer Weise transformiert. Verfahrensschritt **74** beschreibt die Korrektur von geräteinternen Drifteffekten wie beispielsweise Temperatur- und Alterungseinflüsse. Zur Ermittlung einer entsprechenden Korrekturfunktion für das Meßsignal $M(\omega)$ wird im Verfahrensschritt **74** ein Vergleich zwischen einer im Werk durchgeführten und im Gerät abgespeicherten Referenzmessung an einer definierten Impedanz sowie dem Ergebnis der aktuellen Referenzmessung nach Verfahrensschritt **64** durchgeführt. Für das so aufgearbeitete Meßsignal $M(\omega)$ wird nun in Verfahrensschritt **76** die beschriebene Trennung in Signalanteilen vom einschließenden Medium und Signalanteilen, die vom eingeschlossenen Objekt herrühren durchgeführt. Über die im Gerät abgespeicherten Kenngrößen für Referenzmaterialien und ein entsprechendes mathematisches Modell für die Zusammensetzung des einschließenden Mediums wird das gemessene Wandmaterial durch Interpolation mit den Referenzwerten bestimmt. Insbesondere wird dem gemessenen Wandmaterial bzw. dem einschließenden Medium eine Dielektrizitätskonstante zugewiesen, die für die weitere Auswer-

tung des Meßsignals benötigt wird.

[0092] Nach der Trennung des Detektionssignals in Signalanteile ausgehend vom einschließenden Medium bzw. ausgehend vom eingeschlossenen Objekt wird zur Bestimmung der genauen Ortsposition des eingeschlossenen Objektes in Verfahrensschritt **78** ein Geometriefaktor für die kapazitive Sensorvorrichtung berücksichtigt. Dieser Geometriefaktor berücksichtigt beispielsweise fertigungsbedingte geometrische Abweichungen in der Richtcharakteristik der kapazitiven Sensorvorrichtung. Diese geräteindividuellen Unterschiede können durch eine lineare Korrekturfunktion berücksichtigt und aus dem eigentlichen Meßsignal herausgerechnet werden. Unter Berücksichtigung der werksseitig eingestellten Schwellwerte für die Objektdetektion wird in Verfahrensschritt **80** durch die Signalverarbeitung die Entscheidung getroffen, ob ein Objekt geortet worden ist oder nicht. Im Fall einer positiven Entscheidung wird anschließend die Objektgröße, dessen relative Lage zum Meßgerät sowie die Objekttiefe des eingeschlossenen Objektes über die beschriebene Auswertung des Betrages und der Phase der Meßgröße $M(\omega)$ bestimmt. Insbesondere wird die Tiefe des eingeschlossenen Objektes in der Wand aus der Phase der Meßgröße $M(\omega)$ sowie der in Verfahrensschritt **76** ermittelten Dielektrizitätskonstanten des Rundmaterials ermittelt.

[0093] In Verfahrensschritt **82** wird das resultierende Meßergebnis in grafischer Form auf dem Display des Meßgerätes angezeigt. Dazu wird die Position des georteten Objektes relativ zur aktuellen Position des Meßgerätes, die Objektgröße sowie die Objekttiefe mittels symbolischer Darstellungen derart auf der Anzeigevorrichtung des Meßgerätes wiedergegeben, dass der Anwender ein Schnittbild der untersuchten Wand erhält.

[0094] Insbesondere ist es möglich auf dem Display des Meßgerätes beispielsweise auch in grafischer Weise eine zulässige Bohrtiefe anzuzeigen, die möglich ist, ohne das geortete Objekt beim Bohrvorgang zu treffen. Die Darstellung der Meßergebnisse auf dem Display des Meßgerätes erfolgt in Echtzeit, so dass noch während das Meßgerät über eine Wandabschnitt verfahren wird, das geortete Objekt lediglich mit einer kurzen zeitlichen Verzögerung auf dem Bildschirm des erfindungsgemäßen Meßgerätes dargestellt wird.

[0095] Das erfindungsgemäße Verfahren sowie das entsprechende erfindungsgemäße Messgerät sind nicht auf das in der Beschreibung und den Zeichnungen dargestellte Ausführungsbeispiel beschränkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ortung von in einem Medium eingeschlossenen Objekten, bei welchem mittels zumindest einer kapazitiven Sensorvorrichtung ein Detektionssignal erzeugt wird, welches in das zu untersuchende Medium eingreift, so dass durch eine Auswertung des Detektionssignals, insbesondere durch

eine Impedanzmessung, Informationen über in dem Medium eingeschlossene Objekte gewonnen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erlangung einer Tiefeninformation über ein in dem Medium eingeschlossenes Objekt eine Phasenmessung einer mit einem Verschiebestrom der kapazitiven Sensorvorrichtung korrelierten Messgröße genutzt wird.

auf einer Anzeigevorrichtung des Messgerätes darzustellen.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der Messgröße und dem Verschiebestrom der kapazitiven Sensorvorrichtung genutzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein elektrisches Spannungssignal zur Auswertung des Detektionssignales in Betrag und Phase gemessen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1,2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine von einem eingeschlossenen Objekt erzeugte Phasenverschiebung des Verschiebestromes der kapazitiven Sensorvorrichtung zur Detektion des Objektes genutzt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Detektionssignal mehr als eine Messfrequenz aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine oder mehrere Messfrequenzen) des Detektionssignals in einem Intervall von 100 MHz bis 10000 MHz, vorzugsweise in einem Intervall von 500 MHz bis 5000 MHz, und optimalerweise in einem Intervall von 1000 MHz bis 3000 MHz verwendet werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Detektionssignal zur Ortung eines in einem Medium eingeschlossenen Objektes als Funktion einer lateralen Verschiebung einer das Detektionssignal generierenden, kapazitiven Sensorvorrichtung gemessen und ausgewertet wird.

8. Messgerät, insbesondere ein handgehaltenes Ortungsgerät zur Ortung von in einem Medium eingeschlossenen Objekten mit einer Sensorvorrichtung, mit Mitteln zur Erzeugung eines Detektionssignals für diese Sensorvorrichtung, ferner mit einer Steuer- und Auswerteeinheit zur Ermittlung von Messwerten aus dem Detektionssignal, sowie mit einer Ausgabevorrichtung für die ermittelten Messgeräte, zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

9. Messgerät nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Messgerät Mittel aufweist, die es ermöglichen, Messergebnisse, insbesondere den Ort beziehungsweise der Ort und die Tiefe eines in einem Medium eingeschlossenen Objektes, orts aufgelöst

Anhängende Zeichnungen

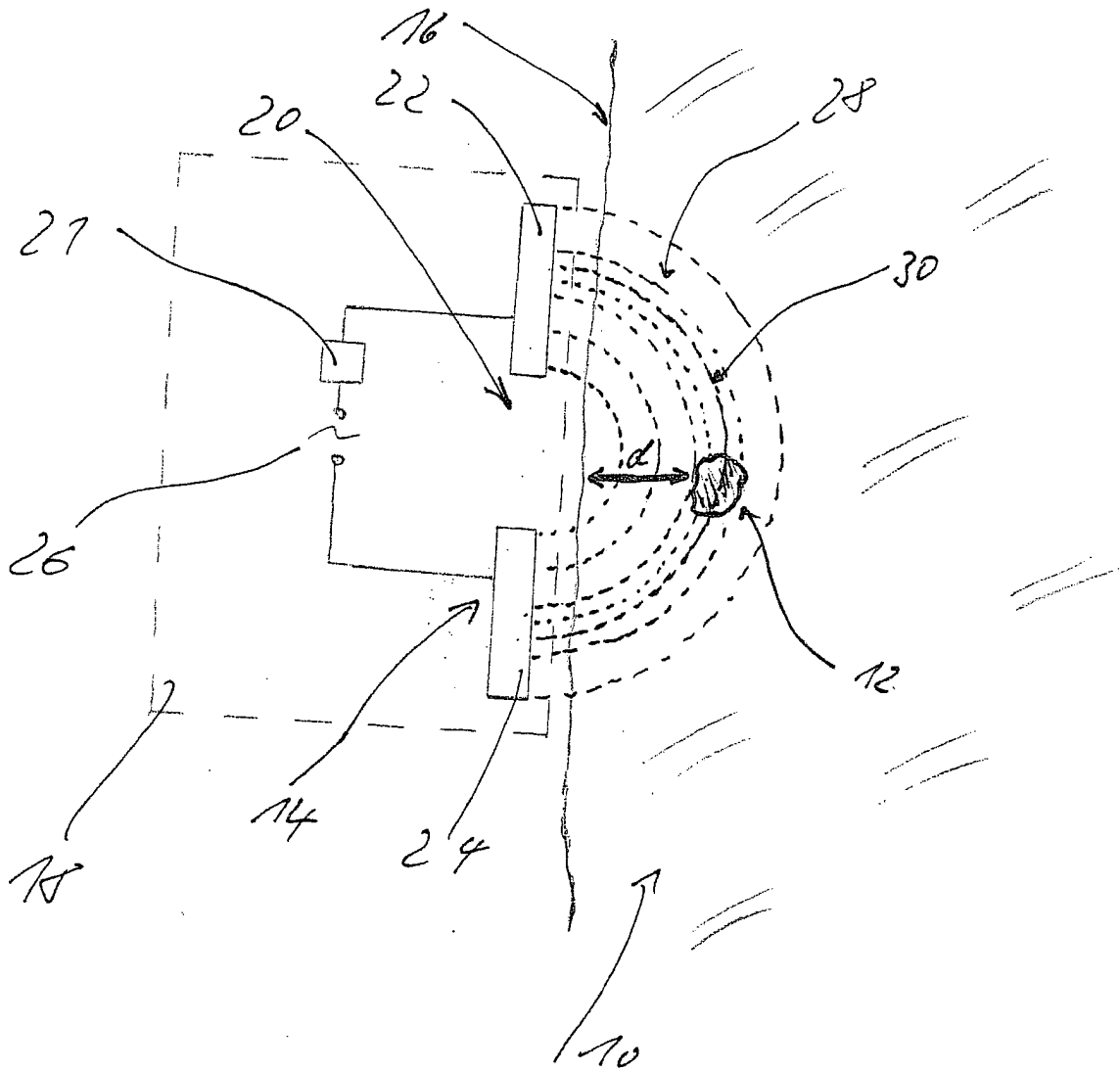
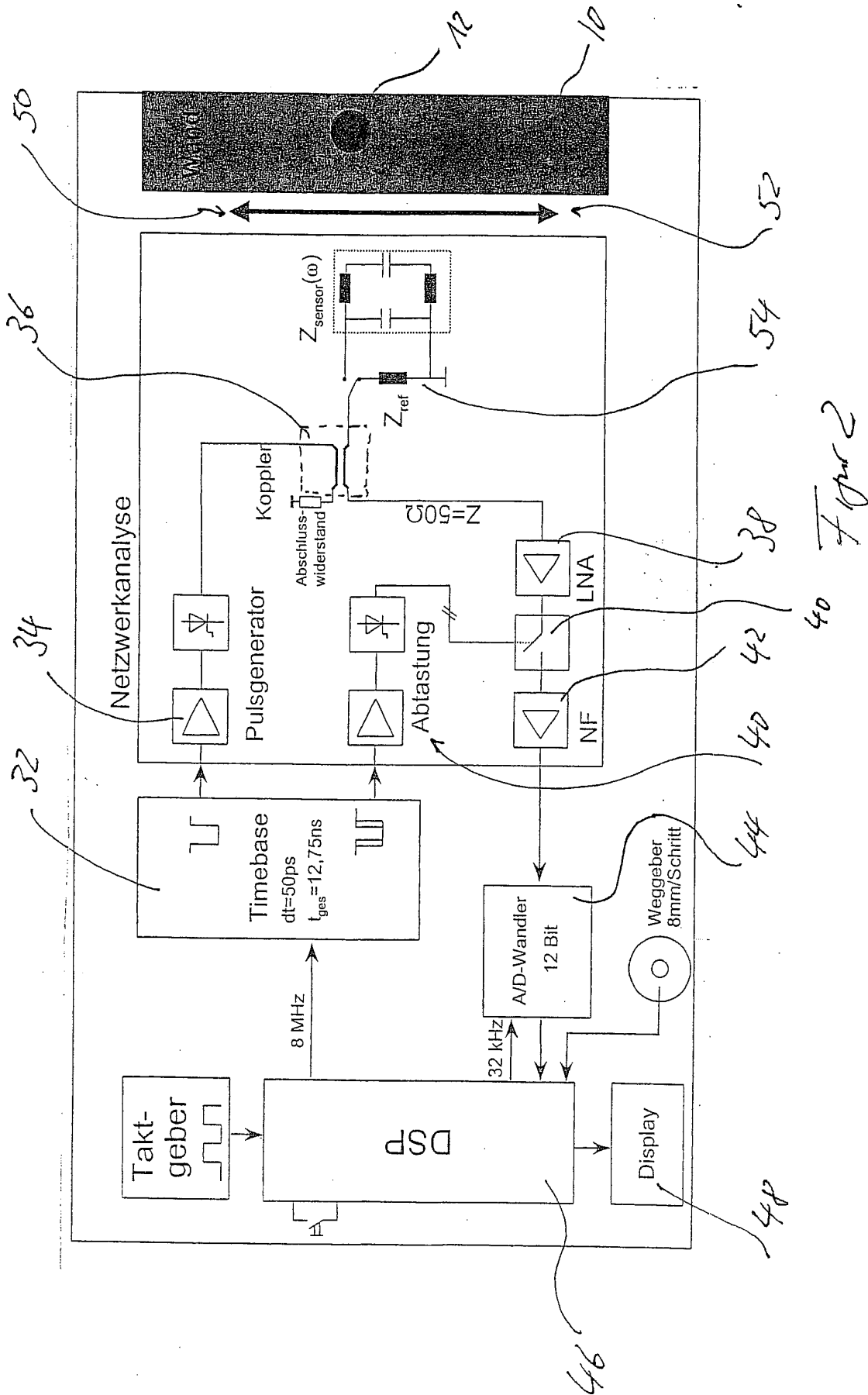
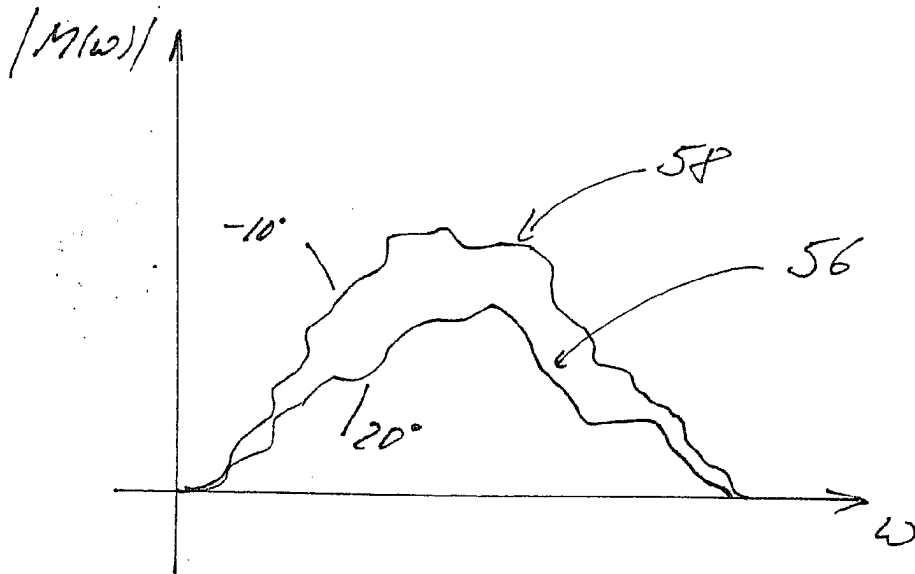


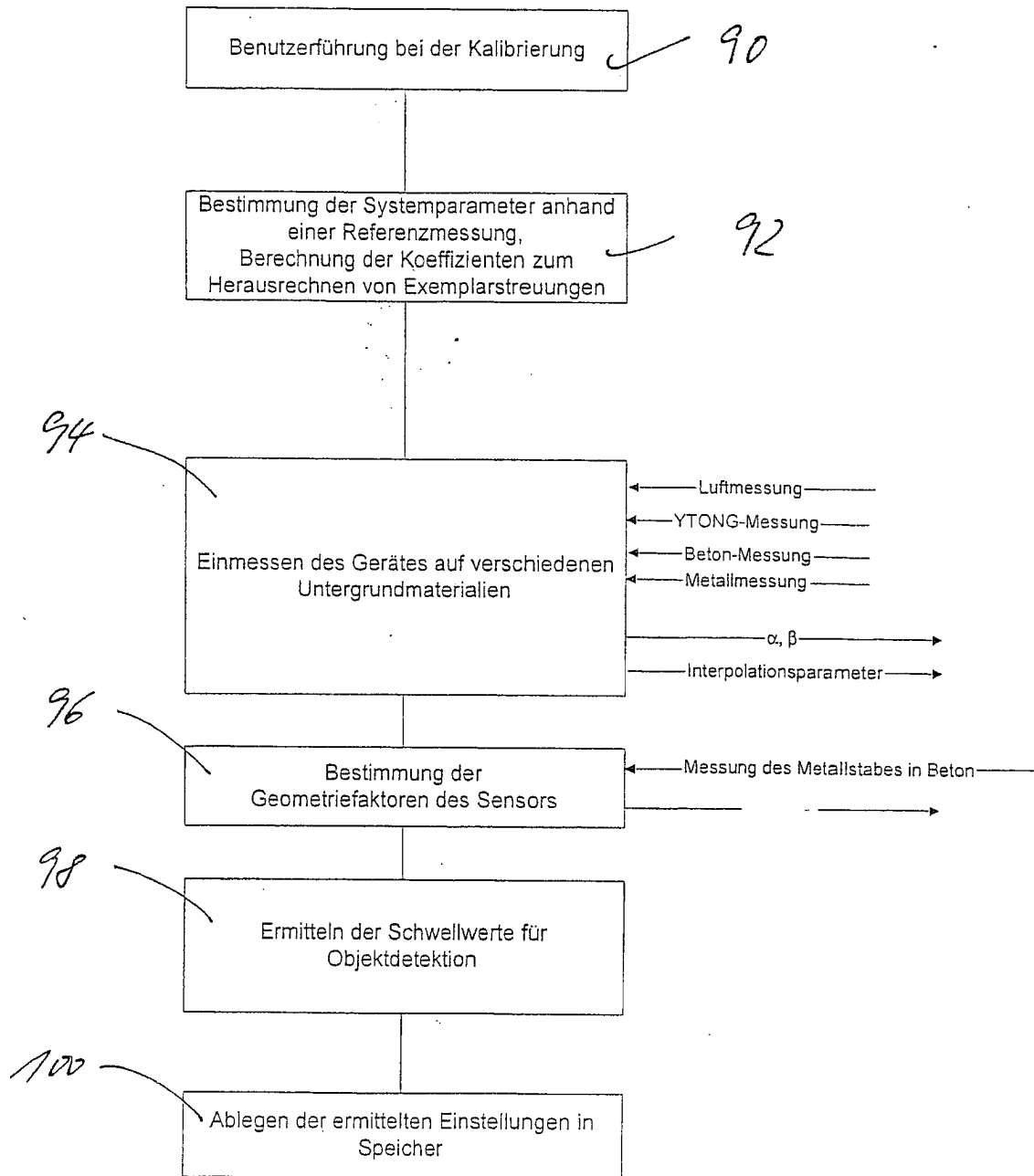
Figure 7



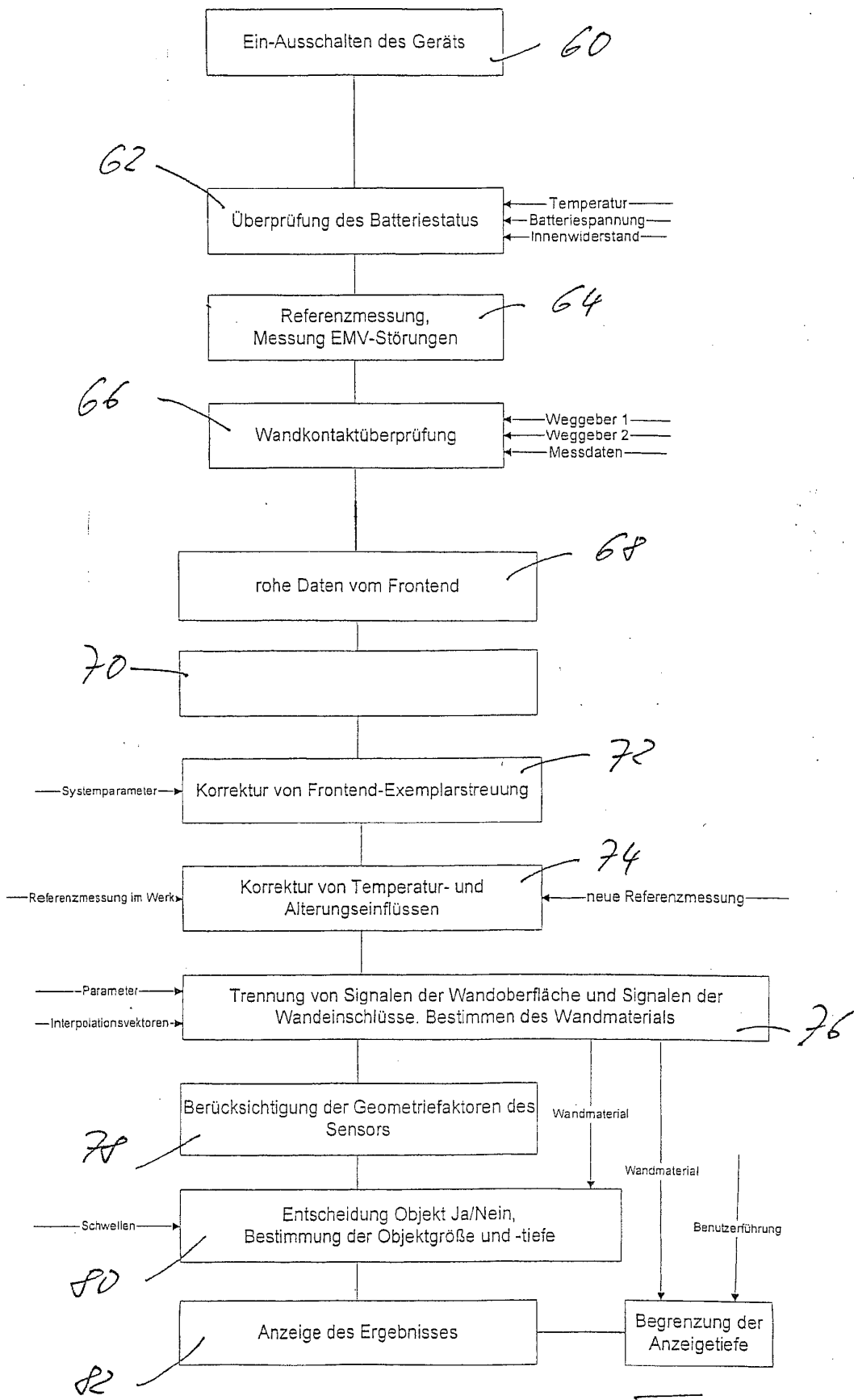


$$M^{-10^\circ}(\omega) = \frac{f^0(\omega) (M^{20^\circ}(\omega))}{f^0(\omega)}$$

Figur 3



Figur 4



Figur 5