



economie

FÖD Wirtschaft, K.M.B., Mittelstand
und Energie
Amt für Geistiges Eigentum

(11) 1031841 B1

(47) Erteilungsdatum : 26/02/2025

(12) BELGISCHES ERFINDUNGSPATENT

(47) Veröffentlichungsdatum : 26/02/2025

(21) Antragsnummer : BE2023/5625

(22) Anmeldetag : 28/07/2023

(62) Teilantrag des früheren Antrags :

(62) Anmeldetag des früheren Antrags :

(51) Internationale Klassifikation : G01N 29/07

(30) Prioritätsangaben :

(73) Inhaber :

ROSENXT HOLDING AG
AG
6370, STANS
Schweiz

(72) Erfinder :

BOUAOUA Nourreddine
76184 KARLSRUHE
Deutschland

(54) Bestimmung einer Integrität einer Rohrleitungswand

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein akustisches Messwandlersystem (1) zur Bestimmung von einer Integrität einer Rohrleitungswand (4) aus Karbonstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement, aufweisend: zumindest zwei Messwandler (3), die jeweils konfiguriert sind, eine akustische Welle in Richtung der Rohrleitungswand (4) zu emittieren und eine von der Rohrleitungswand (4) erzeugte akustische Echo-Longitudinalwelle und eine von der Rohrleitungswand (4) erzeugte akustische Echo-Scherwelle zu detektieren; und eine jeweils mit den Messwandlern (3) signaltechnisch verbundene Steuereinheit, die konfiguriert ist, die Integrität der Rohrleitungswand (4) anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle zu bestimmen. Des

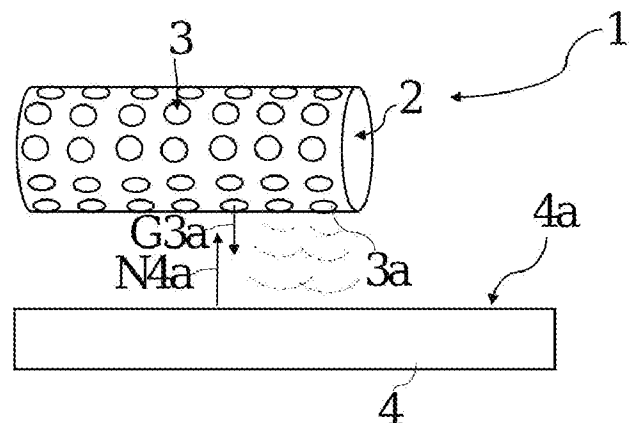


Fig. 1a

Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein computerimplementiertes Verfahren eines akustischen Messwandlersystems (1).

Bestimmung einer Integrität einer Rohrleitungswand

Technisches Gebiet

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein akustisches Messwandlersystem zur Bestimmung von einer Integrität einer Rohrleitungswand aus Kohlenstoffstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement.

10 Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein computerimplementiertes Verfahren zur Bestimmung von einer Integrität einer Rohrleitungswand aus Kohlenstoffstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement.

15

Hintergrund der Erfindung

Bislang bekannt sind Verfahren zur Inspektion, welche bei Öl- oder Gasrohrleitungen eingesetzt werden oder Verfahren zur Inspektion, die bei Wasserrohrleitungen eingesetzt werden. Öl- oder Gasrohrleitungen bestehen aus Karbonstahl oder rostfreiem Stahl.

20 Wasserrohrleitungen bestehen aus Gusseisen oder Zement. In Öl- oder Gasrohrleitungen tritt bei Ultraschall gestützten Inspektionsverfahren an einer Fehlstelle eine geringe Schwächung des Signals auf im Vergleich zu einer Signalschwächung, welche an einer Fehlstelle in einer Wasserrohrleitung erzeugt wird. Die Fehlstellen haben zudem unterschiedliche Eigenschaften in Öl-/Gasleitungen verglichen mit den Fehlstellen in
25 Wasserrohrleitungen. Bei Fehlstellen in einer Öl- oder Gasrohrleitung tritt zumeist keine Materialveränderung auf. Dem hingegen tritt bei Fehlstellen in Gusseisen oder Zementrohrleitungen zumeist auch eine Materialveränderung auf.

30

Beschreibung der Erfindung

Es ist vorliegend eine Aufgabe, verbessert gegenüber bekannten Verfahren die Integrität einer Rohrleitung bestimmen zu können. Insbesondere ist es eine Aufgabe der

vorliegenden Erfindung, Fehlstellen an Rohrleitungen zu erkennen, welche aus einerseits Karbonstahl oder rostfreiem Stahl bestehen können oder welche andererseits aus Gusseisen oder Zement bestehen können. In anderen Worten, es soll bei beiden Arten von Rohrleitungen möglich sein, durch dasselbe System/Verfahren Fehlstellen zu
5 bestimmen.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale der unabhängigen Hauptansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben. Sofern technisch möglich, können die Lehren der Unteransprüche beliebig mit den Lehren der
10 Haupt- und Unteransprüche kombiniert werden.

Insbesondere wird die Aufgabe demnach gelöst durch ein akustisches Messwandlersystem zur Bestimmung von einer Integrität einer Rohrleitungswand aus Karbonstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement. Das Messwandlersystem weist
15 auf:

- zumindest einem Messwandler, der konfiguriert ist, eine akustische Welle in Richtung der Rohrleitungswand zu emittieren und eine von der Rohrleitungswand erzeugte akustische Echo-Longitudinalwelle und eine von der Rohrleitungswand erzeugte akustische Echo-Scherwelle zu detektieren; und
- 20 - eine mit dem Messwandler signaltechnisch verbundene Steuereinheit, die konfiguriert ist, die Integrität der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle zu bestimmen.

25

Weiter wird die Aufgabe gelöst durch ein computerimplementiertes Verfahren, insbesondere eines akustischen Messwandlersystems, zur Bestimmung von einer Integrität einer Rohrleitungswand aus Karbonstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement. Das Verfahren weist auf an Verfahrensschritten:

- 30 - Emittieren, mittels zumindest eines Messwandlers, einer akustischen Welle in Richtung der Rohrleitungswand und

- Detektieren, mittels des zumindest einen Messwandlers, einer von der Rohrleitungswand erzeugten akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer von der Rohrleitungswand erzeugten akustischen Echo-Scherwelle; und
 - Bestimmen, mittels einer mit dem Messwandler signaltechnisch verbundenen
- 5 Steuereinheit, der Integrität der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle.
- 10 Es ist bevorzugt, dass die Reihenfolge von Verfahrensschritten, soweit nicht technisch in einer expliziten Reihenfolge erforderlich, variiert werden kann. Besonders bevorzugt ist jedoch die vorgenannte Reihenfolge der Verfahrensschritte.

Nachfolgend werden vorteilige Aspekte der beanspruchten Erfindung erläutert und weiter

15 nachfolgend bevorzugte modifizierte Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Erläuterungen, insbesondere zu Vorteilen und Definitionen von Merkmalen, sind dem Grunde nach beschreibende und bevorzugte, jedoch nicht limitierende Beispiele. Sofern eine Erläuterung limitierend ist, wird dies ausdrücklich erwähnt.

- 20 Die nachfolgend beschriebenen modifizierten Ausführungsformen können Ausführungsformen des Messwandlersystems und Ausführungsformen mit entsprechenden Verfahrensmerkmale des computerimplementierten Verfahrens sein.

Es hat sich gezeigt, dass durch die Erfindung eine Erkennung von Graphitisierung in

25 Gussrohrleitungen und eine Erkennung von Auslaugung in Zementrohrleitungen möglich ist. Gleichzeitig können Fehlstellen in Rohrleitungen aus Karbonstahl oder rostfreiem Stahl erkannt werden. Dies ist besonders weil z.B. die Fehlstellen unterschiedliche Eigenschaften haben. Bei Öl-/Gaspipelines ist Korrosion gleichbedeutend mit Materialverlust. Bei Korrosion ändern sich keine Materialeigenschaften. Ebenso erfolgt

30 keine Änderung der Materialdichte, Schallgeschwindigkeit, oder Dämpfung. Eine geringe Materialabschwächung der Ultraschallwellen macht die Messung der Wanddicke möglich. Der Nachweis von Korrosion kann durch eine Ultraschall-Wandstärkemessung erfolgen. Hierbei ist die Schallgeschwindigkeit konstant. Bei Wasserrohrleitungen ist

Korrosion nicht gleichbedeutend mit Materialverlust. Die Materialeigenschaften ändern sich bei Korrosion. Insbesondere erfolgt eine Änderung der Materialdichte. Es ändert sich hierdurch die Schallgeschwindigkeit und es erfolgt eine Abschwächung des Ultraschallsignals.

5

Insbesondere eine hohe materialbedingte Absorption und Diffusion von Ultraschallwellen macht eine Wanddickenmessung schwierig. In anderen Worten, der Nachweis von Korrosion mit Ultraschall ist schwierig aufgrund einer Variation der Schallgeschwindigkeit und keiner Variation oder einer Variation der Wanddicke.

10

Die Erkennung einer Fehlstelle mit einem Messwandler erfolgt beispielsweise unter Anwendung eines Puls-Echo-Verfahrens (PE-Verfahren oder PE-Modus). Hierbei empfängt derselbe Messwandler von einer Rohrleitungswand reflektierte Ultraschall-Echos, welcher zuvor Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand emittiert hat. In

15 anderen Worten, für die Bestimmung der Integrität der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle ist die Verwendung eines einzigen Messwandlers zum Emittieren und Detektieren ausreichend. Bei dem System sind gemäß einer modifizierten, und

20 bevorzugten, Ausführungsform zumindest zwei Messwandler an dem Messverfahren beteiligt. Das Verfahren ist mit einem Messwandler möglich. In einer Minimalkonfiguration der modifizierten und bevorzugten Ausführungsform sollten beide Messwandler betrieben werden, um Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand zu emittieren und jeweils ein Ultraschall-Echo zu detektieren.

25

Eine Steuereinheit ist mit dem zumindest einen, bei der modifizierten Ausführungsform mit den zumindest beiden Messwandlern verbunden. Bevorzugt ist die Steuereinheit mit jedem der am Messverfahren beteiligten Messwandler verbunden. Die Steuereinheit verarbeitet die Messsignale, welche den Ultraschall-Echos entsprechen. Die Steuereinheit
30 vergleicht die jeweiligen akustischen Echo-Longitudinalwellen und die akustischen Echo-Scherwellen. Die Steuereinheit setzt die Geschwindigkeiten von Echo-Longitudinalwelle und Echo-Scherwelle in ein Verhältnis. Dieses Verhältnis bildet sie für jeden Messwandler, der am Messverfahren beteiligt ist und welcher ein Ultraschall-

Echo empfängt. Tritt eine Änderung dieses Geschwindigkeitsverhältnisses auf, kann basierend hierauf die Steuereinheit die Integrität der Rohrleitung bestimmen. Minimal lässt sich die Integrität der Rohrleitungswand unter Verwendung lediglich eines Messwandlers bestimmen, anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses
5 zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle.

Bei lediglicher Anwendung des Pitch-Catch-Modus (PC-Verfahren oder PC-Modus) müssten zumindest drei Messwandler am Messverfahren beteiligt sein. Beispielsweise
10 kann ein erster Messwandler Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand emittieren und die beiden anderen Messwandler können Ultraschallechos detektieren.

Es ist auch möglich, dass der PE-Modus und der PC-Modus kombiniert werden. In diesem Fall können minimal zwei Messwandler verwendet werden, wobei einer der
15 beiden Messwandler Ultraschall emittiert und empfängt und der andere der beiden Messwandler nur empfängt.

Weiterhin ist es möglich, Rohrleitungsmaterialtyp und -qualität zu identifizieren, sowie Schweißart und -grad, und harte Flecken. Die Erfindung ist bei einer Ultraschall Inline-
20 Inspektion (ILI)-Inspektion anwendbar, und zwar für Niederfrequenz-Ultraschall und für Hochfrequenz-Ultraschall.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Messwandler/den Messwandlern um normale Messwandler. In anderen Worten, die normalen Messwandler sind Normal-Prüfköpfe.
25 Ein Normal-Prüfkopf ist ein Prüfkopf, der Ultraschall in Form von Longitudinalwellen senkrecht zu der Oberfläche der Rohrleitung in Richtung der Rohrleitung emittiert. Besonders bevorzugt sind die Messwandler als ein normales Strahlsensor-Array angeordnet. Eine Ultraschall-Austrittsfläche/Eintrittsfläche der Messwandler kann kreisförmig ausgestaltet sein. Die Austrittsfläche kann plan sein oder eine konkave oder
30 konvexe Wölbung aufweisen. Auch können die Messwandler ringförmig ausgestaltet sein.

Es kann Kombinationen von Messwandlern, beispielsweise in Form von gemeinsam in einen Trägerkörper einbaubaren Baueinheiten, geben, bei denen ein erster Messwandler kreisförmig ausgestaltet ist und ein zweiter Messwandler den ersten, kreisförmigen Messwandler ringförmig umschließt. Es ist auch denkbar, dass mehrere Messwandler einander ringförmig umschließen. Es ist auch denkbar, dass mehrere Baueinheiten aus kreisförmigen und ringförmigen Messwandlern in einem oder mehreren Kreisen um einen gemeinsamen Mittelpunkt angeordnet sind.

Der Trägerkörper kann Ausrichtungsmittel aufweisen, um sich bezüglich der Rohrleitung derart auszurichten, dass eine Gerade, verlaufend durch einen länglichen Bereich maximaler Intensität des von der Messwandler-Austrittsfläche emittierten Ultraschallstrahls, d. h. des Ultraschallstrahlkegels, parallel zu einer Flächennormalen einer zu einem Rohrinneen gerichteten Innenoberfläche der Rohrleitungswand ist. Maximal haben die Gerade und die Flächennormale der Rohrleitungswand jedoch eine Abweichung von 5 Grad zueinander in ihrer Ausrichtung.

Alternativ oder zusätzlich zu Ausrichtungsmitteln des Trägerkörpers kann der, oder jeder der, Messwandler entsprechend am Trägerkörper ausrichtbar sein. Alternativ oder zusätzlich sind Messwandler in Gruppen bezüglich des Trägerkörpers ausrichtbar. Dies kann beispielsweise durch den Messwandlerträger realisierbar sein. Demnach weist entweder der Messwandlerträger/jeder der Messwandlerträger und/oder der Trägerkörper Ausrichtungsmittel auf, die geeignet sind, den/die Messwandler, welche Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand emittieren, bezüglich der Rohrleitungswand auszurichten.

25

Im vorliegenden Kontext wird sich oftmals auf eine Rohrleitung bezogen. Es kann sich allgemein um ein beliebiges Werkstück handeln, welches aus Karbonstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement besteht.

Bevorzugt handelt es sich um das Ultraschallecho/die Ultraschallechos, die detektiert werden, jeweils um normale Ultraschallimpulsechos. Ein solches Ultraschallimpulsecho ist dasjenige Ultraschallecho, welches bezüglich einer Normalen einer Oberfläche der Rohrleitung parallel oder mit einer maximalen Abweichung von fünf Grad bezüglich der

Normalen von einem Messwandler detektiert wird. Ein Ultraschallimpulseecho ist ein gepulstes Echo. Das Echo wird durch gepulsten Ultraschall erzeugt. Das Ultraschallimpulseecho kann auch ein gechirptes Signal sein.

- 5 Bevorzugt sind die Messwandler des Systems konfiguriert und angeordnet, um eine Phased-Array-Prüfung an der Rohrleitung vornehmen zu können. Die Kombination aus mechanischer Abtastung und elektronischer Strahlsteuerung bei der Phased-Array-Prüfung erhöht die Fehlererkennung, da die Beschallung aus verschiedenen Einfallswinkeln erfolgt. Sampling Phased Array führt die Datenerfassung durch
- 10 Anregung zylindrischer oder sphärischer Wellen durch, die sich in alle Richtungen ausbreiten. Eine hohe Nachweiswahrscheinlichkeit bei gleichzeitiger Abdeckung eines großen Bereichs in der Rohrleitung, welcher untersucht wird, kann bei der Abtastung von Phased Array mit einer einzigen Beschallung (Single Shot) erreicht werden. Die zurückkehrenden Ultraschallechosignale aus einer einzigen Beschallung eines
- 15 Messwandlers werden von jedem einzelnen Messwandler erfasst. Die empfangenen Signale werden dann insbesondere zur Rekonstruktion von A-Scans für einen oder mehrere beliebige Winkel und/oder Fokustiefen verwendet.

- Bevorzugt wird eine niedrigere Frequenz für den Ultraschall in einem Bereich von
- 20 einschließlich 100 KHz bis einschließlich 2000 KHz verwendet. Insbesondere wird Ultraschall mit einer Zentralfrequenz im Bereich von 300 KHz bis 1200 KHz verwendet. Bei diesem Frequenzbereich handelt es sich um einen niedrigeren Ultraschallfrequenzbereich für Messwandler (engl.: „low-frequency ultrasound transducer“, LFUT). Der bevorzugte Frequenzbereich eignet sich besonders zur
- 25 Erkennung von Graphitisierung in Wasserleitungen aus Gusseisen oder Auslaugungen in Zementleitungen von innen mit einem ILI-Tool. Im Vergleich zu Messwandlern mit höherer akustischer Frequenz (engl.: „high frequency ultrasound transducers“, HFUT) hat LFUT den Vorteil einer geringeren Dämpfung und der Fähigkeit zur Durchdringung aufgrund der seiner hohen Wellenlänge.

30

Insbesondere bei einer Verwendung geeigneter Einstellungen für den/die Messwandler in PE-Modus und PC-Modus können Informationen über den Abstand, die Wanddicke, die Korrosionsfläche und die Veränderung der Materialeigenschaften der Rohrleitungen

bestimmen. Das gleiche Prinzip könnte auch für die Erkennung von Defekten in ölführenden Rohrleitungen, insbesondere Ölpipelines, verwendet werden, bei denen sich Ablagerungen oder Zunder an der Innenwand der Pipeline abgelagert haben.

- 5 Gemäß einer modifizierten Ausführungsform ist ein akustisches Messwandlersystem zur Bestimmung von einer Integrität einer Rohrleitungswand aus Karbonstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement vorgesehen. Das Messwandlersystem weist auf:
- zumindest zwei Messwandler, die jeweils konfiguriert sind, eine akustische Welle in Richtung der Rohrleitungswand zu emittieren und eine von der
 - 10 Rohrleitungswand erzeugte akustische Echo-Longitudinalwelle und eine von der Rohrleitungswand erzeugte akustische Echo-Scherwelle zu detektieren; und
 - eine mit den jeweiligen Messwandlern signaltechnisch verbundene Steuereinheit, die konfiguriert ist, die Integrität der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen
 - 15 Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle zu bestimmen.

- Weiter ist gemäß einer modifizierten Ausführungsform ein computerimplementiertes Verfahren vorgesehen, insbesondere eines akustischen Messwandlersystems, zur
- 20 Bestimmung von einer Integrität einer Rohrleitungswand aus Karbonstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement. Das Verfahren weist auf an Verfahrensschritten:
- Emittieren, mittels zumindest eines von zumindest zwei Messwandlern, einer akustischen Welle in Richtung der Rohrleitungswand und
 - Detektieren, mittels der zumindest zwei Messwandler, einer von der
 - 25 Rohrleitungswand erzeugten akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer von der Rohrleitungswand erzeugten akustischen Echo-Scherwelle; und
 - Bestimmen, mittels einer jeweils mit den Messwandlern signaltechnisch verbundenen Steuereinheit, der Integrität der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der
 - 30 akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle.

Die beiden zuvor beschriebenen modifizierten Ausführungsformen haben den Vorteil, dass eine mit mehreren Messwandlern erzeugte Amplitude der Scherwellenmode gegenüber einer mit einem einzigen Messwandler erzeugten Amplitude der Scherwellenmode vergrößert wird. In anderen Worten, bei einer Verwendung von
5 zumindest zwei Messwandlern kann eine größere Amplitude der Scherwellenmode erzeugt werden und somit ein Schallgeschwindigkeitsverhältnis besser bewertet werden.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Steuereinheit konfiguriert ist, von einem normalen Ultraschallimpulsecho die akustische Echo-
10 Longitudinalwelle und die akustische Echo-Scherwelle jeweils in Moden umzuwandeln, und aus den Moden der akustischen Echo-Longitudinalwelle und der akustischen Echo-Scherwelle die Änderung des Verhältnisses zu bestimmen.

Aus den Moden wird wiederum die jeweilige Geschwindigkeit für Echo-
15 Longitudinalwelle und Echo-Scherwelle bestimmt. In anderen Worten, die Steuereinheit ist konfiguriert, von dem normalen Ultraschallimpulsecho die akustische Echo-Longitudinalwelle und die akustische Echo-Scherwelle jeweils in Moden umzuwandeln, und aus den Moden der akustischen Echo-Longitudinalwelle und der akustischen Echo-Scherwelle die Änderung des Verhältnisses zu bestimmen.
20 Eine Umwandlung in eine Mode bedeutet, dass das Messsignal, umfassend die Echo-Longitudinalwelle und die Echo-Scherwelle, als ein Kurvenverlauf dargestellt wird. Das Messsignal wird hierbei als ein zeitlicher Verlauf des jeweils empfangenen Ultraschallechos dargestellt. In anderen Worten, es handelt sich um eine Darstellung des Signals als einen A-Scan.

25

Die zuvor beschriebene modifizierte Ausführungsform hat den Vorteil, dass das Signal schnell verarbeitet werden kann. Es kann mit Vorteil zeiteffizient Information über das Geschwindigkeitsverhältnis gewonnen werden.

30 Gemäß einer modifizierten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Steuereinheit konfiguriert ist, die Integrität der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung des Verhältnisses A zwischen der Geschwindigkeit der akustischen Echo-

Longitudinalwelle und der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle zu bestimmen, welches wie folgt definiert ist:

$$A = \frac{cl}{ct} = \frac{Tt}{Tl}$$

wobei cl die Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle, ct die

- 5 Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle, Tt eine Ankunftszeit einer Mode der Echo-Scherwelle, und Tl die Ankunftszeit einer Mode der Echo-Longitudinalwelle ist. In anderen Worten ist Tt die Ankunftszeit der akustischen Echo-Scherwellenmode, und Tl ist die Ankunftszeit der akustischen Echo-Longitudinalmode.

- 10 Bei der Ankunftszeit Tl handelt es sich um die Ankunftszeit der akustischen Echo-Longitudinalmode an dem Messwandler. Bei der Ankunftszeit Tt handelt es sich um eine Zeit, zu der messbar die Mode der akustischen Echo-Scherwelle an dem Messwandler ankommt. In anderen Worten, bei der Ankunftszeit Tl handelt es sich um einen Zeitpunkt, an dem ein stationärer Zustand bei der akustischen Echo-Longitudinalwelle
- 15 erreicht ist. Bei Tt handelt es sich um den Zeitpunkt, an dem bei dem Messsignal die Mode der akustischen Echo-Scherwelle identifizierbar ist.

Das vorgeschlagene Verhältnis A ist mit Vorteil einfach und daher wenig rechenintensiv bestimmbar.

20

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform weist das Messwandlersystem eine Vielzahl von Messwandlern auf. Die Steuereinheit ist konfiguriert, die Änderung des Verhältnisses zwischen der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle für jeden der Messwandler

25 jeweils als Matrixelement einer Matrix darzustellen, wobei eine Dimension einer Matrixzeile einer Anzahl N der Messwandler minus 1 entspricht.

Beispielsweise kann die Matrix bei einer solchen Darstellung direkt und einfach ausgewertet werden. Beispielsweise kann basierend auf einer solchen Matrix auch ein Bild erstellt werden, in welchem je nach Größenordnung des Verhältnisses verschiedene

30 Farben gewählt werden.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform weist das Messwandlersystem eine Vielzahl von Messwandlern auf, wobei in einem Puls-Echo-Modus der Messwandler die Steuereinheit konfiguriert ist, für jeden der Messwandler sechs Matrizen mit N Spalten zu erstellen, wobei die Anzahl N der Spalten der Anzahl der Messwandler entspricht, wobei jede der Spalten zumindest einen Eintrag aufweist, wobei

- eine erste Matrix als Einträge Laufzeit-Messwerte Time_RF aufweist, wobei in einer linken Spalte der Laufzeit-Messwert eines schnellsten Puls-Echos entspricht,
- eine zweite Matrix Fouriertransformationen ersten Grades der Laufzeit-Messwerte aufweist,
- eine dritte Matrix Fourier-Transformationen zweiten Grades der Laufzeit-Messwerte aufweist,
- eine vierte Matrix Amplituden-Messwerte aufweist,
- eine fünfte Matrix Fouriertransformationen ersten Grades der Amplituden-Messwerte aufweist, und
- eine sechste Matrix Fourier-Transformationen zweiten Grades der Amplituden-Messwerte aufweist.

Es hat sich gezeigt, dass die vorgeschlagene Verarbeitung in Matrizen ein gut geeigneter Ausgangspunkt ist, um ein abweichendes Geschwindigkeitsverhältnis zu finden, womit wiederum auf die Fehlstelle geschlossen werden kann. Hierbei kann prinzipiell jeder der zuvor genannten sechs Matrizen für eine Bestimmung des Geschwindigkeitsverhältnisses herangezogen werden. Somit bestehen unabhängige Ausgangspunkte für eine weitere Verarbeitung durch die Steuereinheit.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform weist das Messwandlersystem auf:

- zumindest zwei Messwandler, einen Trägerkörper und zumindest einen Messwandlerträger,
- wobei die zumindest zwei Messwandler mit dem Messwandlerträger verbunden sind,
- wobei der zumindest eine Messwandlerträger verschwenkbar und/oder von dem Trägerkörper weg- und/oder zu dem Trägerkörper hinbewegbar ausgestaltet ist.

Die vorbeschriebene Ausgestaltung hat den Vorteil, dass einzelne Einheiten gebildet werden können, für welche jeweils separat eine Auswertung zur Bestimmung der Geschwindigkeitsverhältnisse erfolgt. Hierbei kann über den Messwandlerträger eine Gruppe von Messwandlern mit Vorteil bezüglich der Rohrleitung ausgerichtet werden.

5

Das Messwandlersystem kann Messwandler umfassen, welche an dem Messwandlerträger /mehreren Messwandlerträgern installiert sind und Messwandler umfassen, welche direkt auf einem Trägerkörper angeordnet sind. Der Trägerkörper ist länglich ausgebildet, und der Trägerkörper ist bevorzugt zylindrisch. Andere Formen des Trägerkörpers, wie zum Beispiel eine im Querschnitt fünfeckige, sechseckige, N-eckige Ausgestaltung, sind denkbar.

10

Bevorzugt sind an dem Trägerkörper in Bewegungsrichtung des Messwandlersystems, oder beidseitig an jeweiligen Endbereichen, jeweils eine Vielzahl von Messwandlern auf einer Oberfläche des Trägerkörpers angeordnet, d. h. ohne Messwandlerträger, mit dem Trägerkörper starr verbunden. Die Messwandler können kettenförmig den Trägerkörper umschließend mit dem Trägerkörper starr verbunden sein. Von den Endbereichen des Trägerkörpers weiter entfernt liegend kann der Trägerkörper dann auf Messwandlerträgern/auf einem Messwandlerträger angeordnete Messwandler aufweisen. Wenn die starr angeordneten Messwandler eine Fehlstelle detektiert haben, können dann die auf dem Messwandlerträger angeordneten Messwandler bezüglich der Rohrleitungswand ausgerichtet werden, wodurch mit Vorteil die Eigenschaften der Fehlstelle genauer bestimmt werden können.

15

20

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform weist das Messwandlersystem zumindest eine Messwandlerbaueinheit auf, wobei die Messwandlerbaueinheit eine Vielzahl von Messwandlern aufweist, wobei die Messwandler in zumindest einem Kreis angeordnet sind, wobei in einem Kreismittelpunkt zumindest ein weiterer Messwandler angeordnet ist.

25

30

Es können eine Vielzahl von Messwandler-Anordnungen in Kreisen vorgesehen sein. Die vorbeschriebene Anordnung ergibt mit Vorteil ein ausgezeichnetes Signal zu

Rausch-Verhältnis, wobei gleichzeitig eine sehr gute Bestimmung der Geschwindigkeitsverhältnisse erfolgen kann.

- Alternative Anordnungen von Messwandlern sind denkbar. Beispielsweise kann pro Baueinheit, d. h. pro in den Trägerkörper einbaubarem Gerät oder pro Messwandlerträger, ein emittierender Messwandler und ein detektierender Messwandler vorgesehen sein.

- Alternativ oder zusätzlich können pro Baueinheit, d. h. pro in den Trägerkörper einbaubarem Gerät und/oder pro Messwandlerträger und/oder pro Messwandlerbaueinheit, mehrere Ultraschall emittierende Messwandler und ein mittig zu den Ultraschall emittierenden Messwandlern angeordneter, Ultraschallechos detektierender Messwandler vorgesehen sein.

- Alternativ oder zusätzlich können je Baueinheit, d. h. pro in den Trägerkörper einbaubarem Gerät und/oder pro Messwandlerträger und/oder pro Messwandlerbaueinheit, ein detektierenden Messwandler und eine, den detektierenden Messwandler ringförmig umschließender, emittierender Messwandler vorgesehen sein. In anderen Worten ist ein zweiter Messwandler durch einen an seiner Austrittsfläche eingliedrigen Ring gebildet und innerhalb des Rings eine Eintrittsfläche eines ersten Messwandlers angeordnet. Umgekehrt ist möglich, dass ein erster Messwandler durch einen an seiner Austrittsfläche eingliedrigen Ring gebildet ist und innerhalb des Rings eine Eintrittsfläche eines zweiten Messwandlers angeordnet ist.

- Die Messwandler können je nach Betriebsmodus im PE-Modus oder PC-Modus als erster Messwandler oder als zweiter Messwandler operieren.

- Der erste Messwandler wird zum Betreiben des PE-Modus angesteuert, sowie zum Betreiben des PC-Modus. Zusätzlich kann der erste Messwandler gleichzeitig in dem PC-Modus und in dem PE-Modus angesteuert werden. Der zweite Messwandler wird im PC-Modus angesteuert, um das von der Rohrleitungswand reflektierte Ultraschallecho zu detektieren.

Alternativ oder zusätzlich sind die Baueinheiten zueinander (kreisförmig) angeordnet. Die Anzahl der in der Mitte angeordneten detektierenden Messwandler und/oder der in dem Kreis angeordneten emittierenden Messwandler ist nach Bedarf eines zu erreichenden Signal-Rausch-Verhältnisses, den Eigenschaften der Rohrleitung und einer
5 Größe des Messwandlersystems anpassbar. Die emittierenden Messwandler können auch in mehreren Kreisen unterschiedlicher Durchmesser um die detektierende(n) Messwandler angeordnet sein.

Alternativ zu den vorgenannten Ausführungsbeispielen sind die detektierenden
10 Messwandler in Kreisen um eine oder mehrere Ultraschall emittierende Messwandler angeordnet. Dies kann sowohl in einer Baueinheit als auch in mehreren Baueinheiten nach den vorbeschriebenen Prinzipien realisiert sein.

Die Messwandlerbaueinheiten sind beispielsweise auf einem Messwandlerträger
15 angeordnet oder direkt auf dem Trägerkörper angeordnet.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

20 Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Die Formulierung Figur ist in den Zeichnungen mit Fig. abgekürzt.

In den Zeichnungen zeigen
25

- Figur 1a eine schematische Ansicht eines Messwandlersystems gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 1b eine schematische Ansicht des Messwandlersystems gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel;
- 30 Figur 2a eine schematische Ansicht einer Baueinheit mit vier Messwandlern zur Veranschaulichung einer Ausführungsform;
- Figur 2b eine schematische Ansicht einer Wellenfront, welche durch eine Baueinheit mit einer Vielzahl von Messwandlern erzeugt wird;

- Figur 2c eine schematische Ansicht eines Sektorbilds zur Rekonstruktion gemäß einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 3a eine schematische Draufsicht auf eine Ultraschalleintritts-/Austrittsfläche einer Baueinheit eines Messwandlersystems gemäß einer
- 5 Ausführungsform;
- Figur 3b eine schematische Draufsicht auf eine Ultraschalleintritts-/Austrittsfläche einer Baueinheit eines Messwandlersystems gemäß einer anderen Ausführungsform;
- Figur 3c eine schematische Draufsicht auf eine Ultraschalleintritts-/Austrittsfläche
- 10 einer Baueinheit eines Messwandlersystems gemäß einer weiteren Ausführungsform;
- Fig. 4 eine schematische Ansicht der Messwandlerbaueinheit gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer ersten Simulation zur Bestimmung
- 15 eines Geschwindigkeitsverhältnisses; und
- Fig. 6 eine schematische Darstellung einer zweiten Simulation zur Bestimmung eines Geschwindigkeitsverhältnisses.

20 Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Die beschriebenen Ausführungsbeispiele sind lediglich Beispiele, die im Rahmen der Ansprüche auf vielfältige Weise modifiziert und/oder ergänzt werden können. Jedes Merkmal, das für ein bestimmtes Ausführungsbeispiel beschrieben wird, kann

25 eigenständig oder in Kombination mit anderen Merkmalen in einem beliebigen anderen Ausführungsbeispiel genutzt werden. Jedes Merkmal, das für ein Ausführungsbeispiel einer bestimmten Anspruchskategorie beschrieben wird, kann auch in entsprechender Weise in einem Ausführungsbeispiel einer anderen Anspruchskategorie eingesetzt werden.

30

Figur 1a und Figur 1b zeigen zwei mögliche Ausführungsformen des akustischen Messwandlersystems 1. Das akustische Messwandlersystem 1 weist einen Trägerkörper 2 auf. Auf dem Trägerkörper 2 sind eine Vielzahl von als Ultraschallwandler ausgestaltete

Messwandler 3 angeordnet. In anderen Worten, bei den Messwandlern 3 handelt es sich um Ultraschallsensoren. Diese Ultraschallsensoren können zur Erzeugung des Ultraschalls piezoelektrische Elemente aufweisen. Der Trägerkörper 2 kann beispielsweise zylindrisch ausgestaltet sein.

5

Jeder der Messwandler 3 weist eine Austrittsfläche 3a auf, an der der Messwandler 3 Ultraschallstrahlen in Richtung einer Rohrleitungswand 4 einer Rohrleitung emittiert. Die Austrittsfläche 3a der Messwandler 3 kann kreisförmig ausgestaltet sein. Die Austrittsfläche 3a kann plan sein oder eine konkave oder konvexe Wölbung aufweisen.

10

Jeder der Messwandler 3 ist direkt am Trägerkörper 2 befestigt (siehe Figur 1a) oder mittelbar über einen Messwandlerträger 5 an dem Trägerkörper 2 (siehe Figur 1b) befestigt. Hierbei sei erwähnt, dass die Größenverhältnisse zwischen dem Messwandlerträger 5 und dem Trägerkörper 2 nicht den in Figur 1b gezeigten

15 Größenverhältnissen entsprechen müssen. Im Falle einer Anordnung auf dem Messwandlerträger 5 können beispielsweise mehrere Messwandler 3 als eine Gruppe von Messwandlern 3 auf dem Messwandlerträger 5 angeordnet sein. Der Messwandlerträger 5 kann dann die Messwandler 3 als Gruppe gemeinsam bewegen. Der Messwandlerträger 5 ist verschwenkbar und/oder von dem Trägerkörper 2 weg- oder zu
20 dem Trägerkörper 2 hinbewegbar ausgestaltet. Das Messwandlersystem 1 kann auch Messwandler 3 umfassen, welche an dem Messwandlerträger 5/mehreren Messwandlerträgern 5 installiert sind und Messwandler 3 umfassen, welche direkt auf dem Trägerkörper 2 angeordnet sind.

25 Die Austrittsfläche 3a jedes Messwandlers 3 ist senkrecht zu der Rohrleitungswand 4 an einer Oberfläche des Trägerkörpers 2 oder in/an dem Messwandlerträger 5 angeordnet. Jede der Austrittsflächen 3a ist derart angeordnet und ausgestaltet, dass bei einer Ausrichtung des Trägerkörpers 2 längs zu der Rohrleitung, d. h. einer Trägerkörper-Längsachse zu einer Rohrleitungslängsachse, jeweils eine Gerade G3a, erstreckend durch
30 einen Bereich maximaler Intensität des von der Austrittsfläche 3a emittierten Ultraschallstrahls, parallel zu einer Flächennormalen N4a einer zu einem Rohrinne- gerichteten Innenoberfläche 4a der Rohrleitungswand 4 ist. Das System 1 bevorteilt eine Untersuchung der Rohrleitungswand 4 bei Ausrichtungstoleranzen des durch die

- Gerade G3a verlaufenden Bereichs maximaler Intensität des Ultraschallstrahls bis zu fünf Grad bezüglich der Flächennormalen N4a der Rohrleitungswand 4. Eine parallele Ausrichtung von G3a und N4a ist bevorteilt, wenn sich die innenliegende Oberfläche, d. h. die Innenoberfläche 4a, der Rohrleitungswand 4 und die Austrittsfläche 3a parallel
- 5 zueinander erstrecken oder mit einer Ausrichtungstoleranz von maximal 5 Grad zueinander ausgerichtet sind. Der Trägerkörper 2 kann Ausrichtungsmittel aufweisen, um sich bezüglich der Rohrleitung entsprechend auszurichten. Alternativ oder zusätzlich kann jeder der Messwandler 3 entsprechend am Trägerkörper 2 ausrichtbar sein.
- 10 Alternativ oder zusätzlich sind die Messwandler 3 in Gruppen bezüglich des Trägerkörpers 2 ausrichtbar. Dies kann beispielsweise durch den Messwandlerträger 5 realisierbar sein. Demnach weist entweder der Messwandlerträger 5/jeder der Messwandlerträger 5 und/oder der Trägerkörper 2 Ausrichtungsmittel (nicht dargestellt) auf, die geeignet sind, den/die Messwandler 3 welche Ultraschall in Richtung der
- 15 Rohrleitungswand 4 emittieren, bezüglich der Rohrleitungswand 4 auszurichten.

Bei einem Puls-Echo-Modus (PE-Modus) werden insbesondere Normal-Prüfköpfe verwendet.

- 20 Das akustische Messwandlersystem 1 ist derart ausgelegt, dass es mehrere Ultraschallsignale in dem Pulsechomodus (PE-Modus, engl. „pulse echo mode“) und in einem Pitch-Catch-Modus (PC-Modus) sendet und/oder empfängt. Hierbei werden elektronische Sende- und Empfangsparameter, d. h. ein Anregungssignal, ein Verstärkungsfaktor und ein Filter für jeden Modus ausgewählt oder angepasst.

25

- Der Pitch-Catch-Modus heißt auch Neigungsfangmodus. Bei dem PC-Modus und dem PE-Modus erfolgt eine Korrosionserkennung aus einer Analyse der empfangenen Ultraschallwellen. Bei dem PE-Modus emittiert der Messwandler 3 Ultraschall und detektiert ein Ultraschallecho. Bei dem PE-Modus können die gleichen Messwandler 3,
- 30 die den Ultraschall emittieren, diesen detektieren.

Bei den vorliegenden Ausführungsbeispielen kann das Ansteuern der Messwandler 3 eine Kombination aus dem PE-Modus und dem PC-Modus sein. Beispielsweise kann bei

der Kombination aus PE- und PC-Modus ein Messwandler 3 Ultraschall emittieren und einer oder mehrere andere Messwandler 3 ein Ultraschallecho detektiert/detektieren. Die Messwandler 3 können als Einzelelement oder als Doppelement ausgestaltet sein. Bei einer Ausgestaltung als Einzelelement empfängt dieselbe Oberfläche, d. h. die

5 Austrittsfläche 3a, des Messwandlers 3, aus welcher die Ultraschallstrahlen ausgetreten sind, auch die Ultraschallechos. Bei einem Doppelement sendet der Messwandler 3 über eine Austrittsfläche Ultraschall und empfängt über eine, von der Austrittsfläche abweichende Ultraschalleintrittsfläche (nicht mit zusätzlichem Bezugszeichen versehen) Ultraschallechos. Bei den vorliegenden Figuren wird für die Ultraschall-Austrittsfläche

10 das Bezugszeichen „3a“ verwendet. Jeder der Messwandler 3 kann prinzipiell auch dort die Ultraschall-Eintrittsfläche haben, wo in den Figuren die Ultraschall-Austrittsfläche 3a eingezeichnet ist.

Alternativ oder zusätzlich können als Messwandler 3 mehrere Elemente, d. h. mehrere

15 Einzel- oder Doppelemente, insbesondere mehrere Einzelemente, vorgesehen sein. Die Messwandler 3 können mit einfacher oder doppelter Frequenz betrieben werden. Das Betreiben mit doppelter Frequenz wird auch als ein Betreiben mit einer Oberwelle bezeichnet.

20 Die Messwandler 3 sind ausgelegt für ein „Low Frequency Ultrasound Testing“ (LFUT). Die Messwandler 3 sind zu diesem Zweck ausgelegt, Ultraschall mit einer Zentralfrequenz im Bereich von 300 KHz bis 1200 KHz, die eine Frequenzbandbreite von 100 KHz bis 2000 KHz abdeckt, zu erzeugen.

25 Die Anordnungen der beiden Ausführungsbeispiele der Figuren 1a und 1b sind dazu geeignet, Fehler, die eine flächige Ausdehnung im Schallfeld aufweisen, zu detektieren. Bei Nutzung einer Vorlaufstrecke kann ein Sendeecho unterdrückt werden und zur Messung dient dann eine Laufzeit des Ultraschalls zwischen einem Interfacecho und einem Rückwandecho (RF). In Anwesenheit von Fehlern in der Rohrleitung, die in ihrer

30 Ausdehnung quer zum einfallenden Schallfeld orientiert sind, kommt es je nach Größe des Fehlers zur kompletten oder teilweisen Abdeckung des Rückwandechos. Dadurch kann näherungsweise die Ausdehnung bzw. Größe des Fehlers und durch die Laufzeit des Ultraschalls die Tiefenlage des betreffenden Fehlers gemessen werden.

In Figur 2a ist schematisch eine Baueinheit 6 dargestellt, welche vier Messwandler 3_0, 3_1, 3_2, 3_3 aufweist. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Baueinheit 6 auch der Messwandlerträger 5. Alternative Ausführungsformen, bei denen es sich um
5 separate Teile handelt oder bei denen die Baueinheit 6 direkt in den Trägerkörper 2 integriert ist, sind denkbar.

Bei einer Auswertung sind in einer Matrix als Matrixelemente jeweils ein Messsignal über eine Zeitachse und entsprechend der Aperturinformation aufgetragen. In anderen
10 Worten, es sind die Messsignale der einzelnen Messwandler 3_0, 3_1, 3_2, 3_3 entsprechend einer Anordnung der Messwandler 3_0, 3_1, 3_2, 3_3 bezüglich der Rohrleitungswand 4 als ein Matrixelement in einer Matrix eingetragen. Bei der vorliegenden schematischen Anordnung werden vier Messwandler 3_0, 3_1, 3_2, 3_3 verwendet. Jeder der vier Messwandler 3_0, 3_1, 3_2, 3_3 empfängt Ultraschallechos.
15 Der Messwandler 3_0 emittiert zudem Ultraschall. Die Matrix $M_{ij}(t)$ ist dann gebildet mit $j = 1 \dots N$, wobei N die Anzahl der Messwandler 3_0, 3_1, 3_2, 3_3 ist. i ist dann das Sendeelement und j zeigt das Empfangselement an. Bei dem vorliegenden Beispiel hat die Matrix M_{ij} entsprechend die Dimension 4×4 . Entsprechend wäre zum Beispiel das Messsignal-Element M_{02} der Matrix ein Echo-Signal, welches an dem Messwandler 3_2
20 empfangen wurde, wobei der Messwandler 3_0 derjenige Messwandler wäre, welcher Ultraschall emittiert.

Eine detaillierte Analyse von Zeitbereichs-Aperturinformationen der einzelnen Messwandler 3_0, 3_1, 3_2, 3_3, d. h. eine Analyse der einzelnen Matrizen, auch als
25 Informationsmatrizen bezeichnet, zeigt, dass die Zeitsignale aufgrund der phasengesteuerten Erzeugung und Summierung dieser Signale verschwinden können.

Eine vollständige Informationsmatrix ΣM_{ij} erhält man, wenn jeder Messwandler 3_0, 3_1, 3_2, 3_3 jeweils einmal ein Ultraschall emittierendes Element ist und für jeden der
30 sendenden Messwandler eine Matrix M_{ij} erstellt wird.

In Figur 2b ist veranschaulicht, wie bei einer Vielzahl von Messwandlern 3_0, ..., 3_N, bei denen der ganz links liegende Messwandler 3_0 und der ganz rechts liegende

Messwandler 3_N jeweils Ultraschall emittieren, eine Wellenfront von Ultraschall erzeugen und wie sich diese in der Rohrleitungswand 4 ausbreitet und von den anderen Messwandlern 3 detektiert wird. Die Messwandler 3_0,...3_N sind Teil einer Messwandlerbaueinheit 100. Der Einfachheit halber ist in den Figuren 2b und 2c stellvertretend für die Messwandler 3_0,...3_N das Bezugszeichen „3“ eingezeichnet. Bei den Messwandlern 3_0 und 3_N kann es sich auch um einen einzigen ringförmigen Messwandler 3 handeln, wobei dieser ringförmige Messwandler 3 die anderen Messwandler 3_1,...3_N-1 dann umschließt. Die anderen Messwandler können ebenfalls ähnlich wie bei Jahresringen eines Baumstamms als eine Vielzahl voneinander umschließenden Ringen ausgestaltet sein.

In Figur 2c ist veranschaulicht, wie ein Sektorbild aufgebaut ist und wie eine Fehlstelle 7 in einem zeitaufgelösten Messsignal gefunden wird. Das zeitlich aufgelöste Messsignal wird auch als A-Scan oder A-Mode bezeichnet. Hierbei ist der Messwandler 3_6 derjenige Messwandler, der Ultraschall emittiert. Der Messwandler 3_4 weist dasjenige Messsignal auf, welches einen Ausschlag aufweist, anhand welches die Fehlstelle 7 nachgewiesen werden kann. Das Sektorbild ist rasterförmig in der Rohrleitungswand 4 angedeutet.

Mit Bezugnahme auf die Figuren 3a bis 3c sind für einzelne Messwandler 3 die Bezugszeichen 3A, 3B vergeben. Letztere Bezugszeichen beziehen sich auf eine bauliche Form der Messwandler 3, wobei alle Messwandler 3 als erste oder als zweite Messwandler 3A, 3B angesteuert werden können.

Das Messwandlersystem 1 umfasst zumindest eine Baueinheit 6. Die Baueinheit 6 des Messwandlersystems 1 umfasst jeweils eine Steuereinheit (nicht dargestellt) und einen Messwandler 3A, 3B. Alternativ kann gemäß einer nicht dargestellten Ausführungsform eine gemeinsame Steuereinheit für beide Messwandler 3A, 3B/für alle Messwandler vorgesehen sein. Die Steuereinheit muss nicht innerhalb einer der Baueinheiten 6 des Messwandlersystems 1 integriert sein.

Die Figuren 3a bis 3c zeigen jeweils eine schematische Draufsicht auf eine Ultraschall-Eintritts-/Austrittsfläche 3a (Bezugszeichen 3a aus Übersichtsgründen in den Figuren 3a

bis 3c nicht eingezeichnet) einer Baueinheit 6 eines Messwandlersystems 1. In diesen Ausführungsbeispielen sind Ultraschall emittierende und Ultraschall detektierende Messwandler 3A, 3B in der Baueinheit 6 integriert. Die Messwandler 3A,3B können je nach Betriebsmodus im PE-Modus oder PC-Modus als erster Messwandler 3A oder als
5 zweiter Messwandler 3B operieren.

Der erste Messwandler 3A wird zum Betreiben des PE-Modus angesteuert, sowie zum Betreiben des PC-Modus. Zusätzlich kann der erste Messwandler 3A gleichzeitig in dem PC-Modus und in dem PE-Modus angesteuert werden. Der zweite Messwandler 3B wird
10 im PC-Modus angesteuert, um das von der Rohrleitungswand 4 reflektierte Ultraschallecho zu detektieren.

Gemäß der Ausführungsform nach Figur 3a weist die Baueinheit 6 einen emittierenden Messwandler 3B und einen detektierenden Messwandler 3A auf.
15

Gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 3b weist die Baueinheit 6 mehrere Ultraschall emittierende Messwandler 3B und einen mittig zu den Ultraschall emittierenden Messwandlern 3B angeordnete, Ultraschallechos detektierenden Messwandler 3A auf.
20

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Figur 3c weist eine Baueinheit 6 einen detektierenden Messwandler 3A auf und eine, den detektierenden Messwandler 3A ringförmig umschließenden, emittierenden Messwandler 3B auf. In anderen Worten ist der zweite Messwandler 3B durch einen an seiner Austrittsfläche 3a eingliedrigen Ring gebildet und innerhalb des Rings eine Eintrittsfläche des ersten Messwandlers 3A
25 angeordnet.

Alternativ oder zusätzlich sind die Baueinheiten 6 nach dem Ausführungsbeispiel der Figur 3a oder 3c in einer Formation wie in Figur 3b dargestellt ist, zueinander
30 (kreisförmig) angeordnet. Die Anzahl der in der Mitte angeordneten detektierenden Messwandler 3A und/oder der in dem Kreis angeordneten emittierenden Messwandler 3B ist nach Bedarf eines zu erreichenden Signal-Rausch-Verhältnisses, den Eigenschaften der Rohrleitung und einer Größe des Messwandlersystems 1 anpassbar.

Die emittierenden Messwandler 3B können auch in mehreren Kreisen unterschiedlicher Durchmesser um die detektierende(n) Messwandler 3A angeordnet sein. Alternativ zu den vorgenannten Ausführungsbeispielen sind die detektierenden Messwandler 3A in Kreisen um eine oder mehrere Ultraschall emittierende Messwandler 3B angeordnet.

- 5 Dies kann sowohl in einer Baueinheit 6 als auch in mehreren Baueinheiten 6 nach den vorbeschriebenen Prinzipien realisiert sein.

In Figur 4 ist eine mögliche Ausführungsform des Messwandlersystems 1 dargestellt. Bei dieser Ausführungsform handelt es sich um eine den Baueinheiten 6 übergeordnete

- 10 Messwandlerbaueinheit 100, welche eine Vielzahl von Baueinheiten 6 aufweist.

Anhand dieser Anordnung des Messwandlersystems 1 soll eine Ausführungsform eines Auswertungsverfahrens erläutert werden. Bei der Anordnung der Figur 4 sind eine Vielzahl von Baueinheiten 6 vorgesehen, welche Ultraschallsignale senden/empfangen.

- 15 Die Messwandler 3 der jeweiligen Baueinheiten 6 sind zwecks einer Zuordnung in späteren Erläuterungen mit den Bezugszeichen 3_0, 3_1, ... 3_N versehen. Alle Baueinheiten 6 können auf einem Messwandlerträger 5 angeordnet sein wie in Figur 4 dargestellt oder auf dem Trägerkörper 2. Auch können einzelne der Baueinheiten 6 auf einem Messwandlerträger 5 angeordnet sein und andere der Baueinheiten 6 können auf
- 20 dem Trägerkörper 2 angeordnet sein.

Eine mittig auf dem Messwandlerträger 5 angeordnete Baueinheit 6 weist einen Messwandler mit dem Bezugszeichen 3_0 auf. Die anderen um die Baueinheit 6 mit den Messwandler 3_0 angeordneten Messwandler sind mit den Bezugszeichen 3_1, 3_2, ... 3_N versehen. Die jeweiligen Baueinheiten 6 umfassen jeweils eine Scheibe und einen um die Scheibe angeordneten Ring. Sowohl bei der Scheibe als auch bei dem Ring handelt es sich jeweils um Messwandler 3.

- Das Auswertungsverfahren kombiniert empfangene Mehrfachsignale in einer
- 30 Datenmatrix, die als Eingabe für einen tomographischen Bewertungsalgorithmus der gescannten Rohrleitung dient.

Die Auswertung der erzeugten Bilder gibt Aufschluss über die Geometrie und Dicke der Rohrleitung sowie die Lokalisierung und Größenbestimmung von Defekten in der Rohrleitung. Im Vergleich zur Standardinspektion führt der tomographische Inspektionsaufbau zu einer verbesserten Fehlererkennung, Empfindlichkeit und

5 Genauigkeit.

Sowohl für den PE- als auch für den PC-Modus werden drei Signale erfasst:

- Rückwandecho- (RF-) Signal, und zwar ein Hochfrequenz- A-Scan Signal,
- FFT1-Signal, und zwar ein Signal der schnellen Fourier-Transformation des RF-
- 10 Signals,
- FFT2-Signal, und zwar eine zweifache Fast-Fourier Fourier-Transformation des RF-Signals.

Ein A-Scan-Signal entspricht einem zeitlichen Verlauf eines empfangenen

15 Ultraschallechos, welches aus einem emittierten Ultraschallimpuls erzeugt wird. Bei periodisch erzeugten Ultraschallimpulsen wird demnach für jeden der Ultraschallimpulse ein zeitlicher Verlauf, demnach ein A-Scan, erzeugt.

In dem Puls-Echo-Modus der Messwandler 3_0, 3_1, 3_N ist die Steuereinheit

20 konfiguriert, für jeden der Messwandler 3_0, 3_1, ..., 3_N sechs Matrizen mit N Spalten zu erstellen, wobei die Anzahl N der Spalten der Anzahl der Messwandlern 3_0, 3_1,...3_N entspricht, wobei jede der Spalten zumindest einen Eintrag aufweist. Hierbei weist

- eine erste Matrix als Einträge Laufzeit-Messwerte Time_RF auf, wobei in einer
- 25 linken Spalte der Laufzeit-Messwert eines schnellsten Puls-Echos entspricht,
- eine zweite Matrix Fouriertransformationen ersten Grades der Laufzeit-Messwerte auf,
- eine dritte Matrix Fourier-Transformationen zweiten Grades der Laufzeit-Messwerte auf,
- 30 - eine vierte Matrix Amplituden-Messwerte auf,
- eine fünfte Matrix Fouriertransformationen ersten Grades der Amplituden-Messwerte auf, und

- eine sechste Matrix Fourier-Transformationen zweiten Grades der Amplituden-Messwerte auf.

Vorliegend werden im PE-Modus sechs Matrizen erzeugt, und zwar für jeden der

5 Messwandler 3_0, 3_1, ... 3_N:

1. PE_Time_RF = [PE_Time_RF_3_0, PE_Time_RF_3_1, ... PE_Time_RF_3_N],
2. PE_Frequency_FFT1 = [PE_Frequency_FFT1_3_0, PE_Frequency_FFT1_3_1, ... PE_Frequency_FFT1_3_N].
3. PE_Time_FFT2 = [PE_Time_FFT2_3_0, PE_Time_FFT2_3_1, ... PE_Time_FFT2_3_N]
4. PE_Amplitude_RF = [PE_Amplitude_RF_3_0, PE_Amplitude_RF_3_1, ... PE_Amplitude_RF_3_N].
5. PE_Amplitude_FFT1 = [PE_Amplitude_FFT1_3_0, PE_Amplitude_FFT1_3_1, ... PE_Amplitude_FFT1_3_N].
6. PE_Amplitude_FFT2 = [PE_Amplitude_FFT2_3_0, PE_Amplitude_FFT2_3_1, ... PE_Amplitude_FFT2_3_N]

- 20 Bei der PC-Messung werden für jede Baugruppe 6 die von den Ringen umschlossenen Scheiben als Sender und die Ringe als Empfänger verwendet. Die elektronischen Sende- und Empfangsparameter sind an den PE-Modus angepasst.

- Dann wird die Scheibe 3_0 der mittigen Baugruppe 6 als Sender und alle übrigen Scheiben 3_1, 3_2, ... 3_N als Empfänger verwendet. Eine ähnliche Messung wird für alle Scheiben 3_0, 3_1, 3_2, ... 3_N bis zum letzten Messwandler 3_N durchgeführt. Vorliegend werden die NxN PC-Messungen werden wie folgt durchgeführt.

$$\begin{aligned}
 & \text{PC_Messung} = \\
 & \begin{vmatrix} \text{PC_Measure_RF_3_0}, 0 \cdots \text{PC_Measure_RF_3_0}, N \\ \vdots \\ \text{PC_Measure_RF_3_N}, 0 \cdots \text{PC_Measure_RF_3_N}, N \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

Für jede Messwandlerbaueinheit 100 werden sechs Matrizen wie folgt mit Messdaten gefüllt:

PC_RF_Time =

$$\begin{array}{l}
 5 \quad | \text{PC_Time_RF_3_0}, 0 \cdots \text{PC_Time_RF_3_0}, N | \\
 \quad | \vdots \vdots \vdots | \\
 \quad | \text{PC_Time_RF_3_N}, 0 \cdots \text{PC_Time_RF_3_N}, N |
 \end{array}$$

PC_RF_Amplitude =

$$\begin{array}{l}
 10 \quad | \text{PC_Amp.}_\text{RF_3_0}, 0 \cdots \text{PC_Amp.}_\text{RF_3_0}, N | \\
 \quad | \vdots \vdots \vdots | \\
 \quad | \text{PC_Amp.}_\text{RF_3_N}, 0 \cdots \text{PC_Amp.}_\text{RF_3_N}, N |
 \end{array}$$

PC_FFT1_Frequency=

$$\begin{array}{l}
 15 \quad | \text{PC_Freq.}_\text{FFT1_3_0}, 0 \cdots \text{PC_Freq.}_\text{FFT1_3_0}, N | \\
 \quad | \vdots \vdots \vdots | \\
 \quad | \text{PC_Freq.}_\text{FFT1_3_N}, 0 \cdots \text{PC_Freq.}_\text{FFT1_3_0}, N |
 \end{array}$$

PC_FFT1_Amplitude=

$$\begin{array}{l}
 20 \quad | \text{PC_Amp.}_\text{FFT1_3_0}, 0 \cdots \text{PC_Amp.}_\text{FFT1_3_0}, N | \\
 \quad | \vdots \vdots \vdots | \\
 \quad | \text{PC_Amp.}_\text{FFT1_3_N}, 0 \cdots \text{PC_Amp.}_\text{FFT1_3_N}, N |
 \end{array}$$

PC_FFT2_Time=

$$\begin{array}{l}
 25 \quad | \text{PC_Time}_\text{FFT2_3_0}, 0 \cdots \text{PC_Time}_\text{FFT2_3_0}, N | \\
 \quad | \vdots \vdots \vdots | \\
 \quad | \text{PC_Time}_\text{FFT2_3_N}, 0 \cdots \text{PC_Time}_\text{FFT2_3_N}, N |
 \end{array}$$

PC_FFT2_Amplitude=

$$\begin{array}{l}
 30 \quad | \text{PC_Amp.}_\text{FFT2_3_0}, 0 \cdots \text{PC_Amp.}_\text{FFT2_3_0}, N | \\
 \quad | \vdots \vdots \vdots | \\
 \quad | \text{PC_Amp.}_\text{FFT2_3_N}, 0 \cdots \text{PC_Amp.}_\text{FFT2_3_N}, N |
 \end{array}$$

Die Steuereinheit des Messwandlersystems 1 wertet zumindest eine der Matrizen aus. Die Steuereinheit ist mit den Messwandlern 3 signaltechnisch verbunden. Letztlich wird bei der Auswertung der Matrizen eine Integrität der Rohrleitungswand 4 bestimmt. Das bedeutet, dass eine Beschaffenheit bestimmt werden kann, z. B. das Vorliegen von

5 Fehlstellen oder Materialablagerungen.

Eine Echo-Longitudinalwelle oder eine Echo-Scherwelle können in jeder der Matrizen gesucht werden. In anderen Worten, jede der Matrizen, betreffend RF-Signal und/oder FFT1 und/oder FFT2, kann für eine Auswertung herangezogen werden. Die Echo-

10 Longitudinalwelle ist diejenige Welle, welche durch ein Material der Rohrleitungswand 4 erzeugt wird. Die Echo-Scherwelle ist diejenige Welle, welche durch ein Material erzeugt wird, welches abweichend von dem Material der Rohrleitungswand 4 ist. Beispielsweise kann es sich bei diesem Material um eine Graphitisierung einer gusseisernen Rohrleitungswand 4 oder einer Auslaugung in einer

15 Rohrleitungswand 4 aus Zement handeln. In anderen Worten, eine Auswertung der Matrizen hilft auch bei der Erkennung von Materialveränderungen an der Rohrleitungswand 4. Beispielsweise kann das Verfahren bei einer Ultraschall-Inline-Inspection Tool (ILI) zur Materialcharakterisierung verwendet werden.

20 Die Steuereinheit ist konfiguriert, die Integrität der Rohrleitungswand 4 anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle zu bestimmen. Hierbei ist die Steuereinheit konfiguriert, von einem normalen Ultraschallimpulseecho die akustische Echo-Longitudinalwelle und die akustische Echo-

25 Scherwelle jeweils in Moden umzuwandeln, und aus den Moden der akustischen Echo-Longitudinalwelle und der akustischen Echo-Scherwelle die Änderung des Verhältnisses zu bestimmen.

Die Integrität der Rohrleitungswand 4 wird anhand einer auftretenden Änderung eines

30 Verhältnisses A zwischen der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle bestimmt, welches wie folgt definiert ist:

$$A = cl/ct = Tt/Tl$$

wobei c_l die Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle, c_t die Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle, T_l eine Ankunftszeit einer Mode der akustischen Echo-Longitudinalwelle und T_t eine Ankunftszeit einer Mode der akustischen Echo-Scherwelle ist.

5

Das Messwandlersystem 1 weist vorliegend eine Vielzahl von Messwandlern $3_0, 3_1, \dots, 3_N$ auf. Die Steuereinheit ist konfiguriert, die Änderung des Verhältnisses zwischen der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle für jeden der Messwandler $3_0, 3_1, \dots, 3_N$ jeweils als Matrixelement einer Matrix darzustellen, wobei eine Dimension einer Matrixzeile einer Anzahl N der Messwandler $3_0, 3_1, \dots, 3_N$ minus 1 entspricht.

10

In den Figuren 5 und 6 sind Simulationen einer Bestimmung eines akustischen Geschwindigkeitsverhältnisses A dargestellt. Bei der Simulation der Figur 5 wurde ein 5 MHz Echo-Puls bei einer Wanddicke der Rohrleitung 4 von 20 mm und einer SO von 40 mm angenommen. Bei der Simulation der Figur 6 wurde ein 0,6 MHz Echo-Chirp bei einer Wanddicke der Rohrleitung 4 von 20 mm und einer SO von 40 mm angenommen. Bei dem Graphen links oben ist in beiden Figuren 5 und 6 jeweils ein zeitlicher Verlauf der Amplitude aufgezeichnet (RF S1). Bei dem Graphen rechts oben ist in beiden Figuren 5 und 6 jeweils eine Fouriertransformierte ersten Grades von dem zeitlichen Verlauf der Amplitude aufgezeichnet (Processed S2). Bei dem Graphen links unten ist in beiden Figuren 5 und 6 jeweils eine Fouriertransformierte zweiten Grades von dem zeitlichen Verlauf der Amplitude aufgezeichnet (Processed S3). Bei dem Graphen rechts unten ist in beiden Figuren 5 und 6 jeweils eine Fouriertransformierte dritten Grades von dem zeitlichen Verlauf der Amplitude aufgezeichnet (Processed S4). Bei beiden Simulationen der Figuren 5 und 6 ergibt sich ein Geschwindigkeitsverhältnis A von 1,8.

15

20

25

Bezugszeichenliste

	1	akustisches Messwandlersystem
	2	Trägerkörper
5	3	Messwandler
	3a	Austrittsfläche des Messwandlers
	3A	erster Messwandler
	3B	zweiter Messwandler
	3_0, 3_1,...3_N	
10		Messwandler
	4	Rohrleitungswand
	4a	Innenoberfläche der Rohrleitungswand
	5	Messwandlerträger
15	6	Baueinheit
	7	Fehlstelle
	100	Messwandlerbaueinheit
20	G3a	Flächennormale der Austrittsfläche
	N4a	Flächennormale der Rohrleitungswand

Patentansprüche

1. Akustisches Messwandlersystem (1) zur Bestimmung von einer Integrität einer Rohrleitungswand (4) aus Karbonstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement,
5 aufweisend:
 zumindest einen Messwandler (3, 3_0, 3_1,...,3_N), der konfiguriert ist, eine akustische Welle in Richtung der Rohrleitungswand (4) zu emittieren und eine von der Rohrleitungswand (4) erzeugte akustische Echo-Longitudinalwelle und eine von der Rohrleitungswand (4) erzeugte akustische Echo-Scherwelle zu detektieren; und
10 eine mit dem Messwandler (3, 3_0, 3_1,...,3_N) signaltechnisch verbundene Steuereinheit, die konfiguriert ist, die Integrität der Rohrleitungswand (4) anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle zu bestimmen.
15
2. Akustisches Messwandlersystem nach Anspruch 1, aufweisend:
 zumindest zwei Messwandler (3, 3_0, 3_1,...,3_N), die jeweils konfiguriert sind, eine akustische Welle in Richtung der Rohrleitungswand (4) zu emittieren und eine von der Rohrleitungswand (4) erzeugte akustische Echo-Longitudinalwelle und eine von der
20 Rohrleitungswand (4) erzeugte akustische Echo-Scherwelle zu detektieren; und
 eine jeweils mit den Messwandlern (3, 3_0, 3_1,...,3_N) signaltechnisch verbundene Steuereinheit, die konfiguriert ist, die Integrität der Rohrleitungswand (4) anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen
25 Echo-Scherwelle zu bestimmen.
3. Akustisches Messwandlersystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Steuereinheit konfiguriert ist, von einem normalen Ultraschallimpulsecho die akustische Echo-Longitudinalwelle und die akustische Echo-Scherwelle jeweils in Moden umzuwandeln,
30 und aus den Moden der akustischen Echo-Longitudinalwelle und der akustischen Echo-Scherwelle die Änderung des Verhältnisses zu bestimmen.

4. Akustisches Messwandlersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Steuereinheit konfiguriert ist, die Integrität der Rohrleitungswand (4) anhand einer auftretenden Änderung des Verhältnisses A zwischen der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle zu bestimmen, welches wie folgt definiert ist:

$$A = \frac{cl}{ct} = \frac{Tt}{Tl},$$

wobei cl die Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle, ct die Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle, Tl eine Ankunftszeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle, Tt eine Ankunftszeit der akustischen Echo-Scherwelle ist.

10

5. Akustisches Messwandlersystem nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, aufweisend eine Vielzahl von Messwandlern ($3_0, 3_1, \dots, 3_N$), wobei die Steuereinheit konfiguriert ist, die Änderung des Verhältnisses zwischen der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und der Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle für jeden der Messwandler ($3_0, 3_1, \dots, 3_N$) jeweils als Matrixelement einer Matrix darzustellen, wobei eine Dimension einer Matrixzeile einer Anzahl N der Messwandler ($3_0, 3_1, \dots, 3_N$) minus 1 entspricht.

6. Akustisches Messwandlersystem nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, aufweisend eine Vielzahl von Messwandlern ($3_0, 3_1, \dots, 3_N$), wobei in einem Puls-Echo-Modus der Messwandler ($3_0, 3_1, \dots, 3_N$) die Steuereinheit konfiguriert ist, für jeden der Messwandler sechs Matrizen mit N Spalten zu erstellen, wobei die Anzahl N der Spalten der Anzahl der Messwandler entspricht, wobei jede der Spalten zumindest einen Eintrag aufweist, wobei

- eine erste Matrix als Einträge Laufzeit-Messwerte $Time_RF$ aufweist, wobei in einer linken Spalte der Laufzeit-Messwert eines schnellsten Puls-Echos entspricht,
- eine zweite Matrix Fouriertransformationen ersten Grades der Laufzeit-Messwerte aufweist,
- eine dritte Matrix Fourier-Transformationen zweiten Grades der Laufzeit-Messwerte aufweist,
- eine vierte Matrix Amplituden-Messwerte aufweist,

- eine fünfte Matrix Fouriertransformationen ersten Grades der Amplituden-Messwerte aufweist, und
- eine sechste Matrix Fourier-Transformationen zweiten Grades der Amplituden-Messwerte aufweist.

5

7. Akustisches Messwandlersystem nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, aufweisend:

- zumindest zwei Messwandler (3), einen Trägerkörper (2) und zumindest einen Messwandlerträger (5),

10 wobei die zumindest zwei Messwandler (3) mit dem Messwandlerträger (5) verbunden sind,

wobei der zumindest eine Messwandlerträger (5) verschwenkbar und/oder von dem Trägerkörper (2) weg- und/oder zu dem Trägerkörper (2) hinbewegbar ausgestaltet ist.

15 8. Akustisches Messwandlersystem nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, aufweisend zumindest eine Messwandlerbaueinheit (100), wobei die Messwandlerbaueinheit (100) eine Vielzahl von Messwandlern ($3_0, 3_1, \dots, 3_N$) aufweist, wobei die Messwandler ($3_0, 3_1, \dots, 3_N$) in zumindest einem Kreis angeordnet sind, wobei in einem Kreismittelpunkt zumindest ein weiterer Messwandler

20 ($3_0, 3_1, \dots, 3_N$) angeordnet ist.

9. Computerimplementiertes Verfahren eines akustischen Messwandlersystems (1) zur Bestimmung von einer Integrität einer Rohrleitungswand (4) aus Karbonstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement, das Verfahren aufweisend:

25 Emittieren, mittels zumindest eines Messwandlers ($3, 3_0, 3_1, \dots, 3_N$), einer akustischen Welle in Richtung der Rohrleitungswand (4) und

Detektieren, mittels des zumindest einen Messwandlers ($3, 3_0, 3_1, \dots, 3_N$), einer von der Rohrleitungswand (4) erzeugten akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer von der Rohrleitungswand (4) erzeugten akustischen Echo-Scherwelle; und

30 Bestimmen, mittels einer mit dem Messwandler ($3, 3_0, 3_1, \dots, 3_N$) signaltechnisch verbundenen Steuereinheit, der Integrität der Rohrleitungswand (4) anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit

der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle.

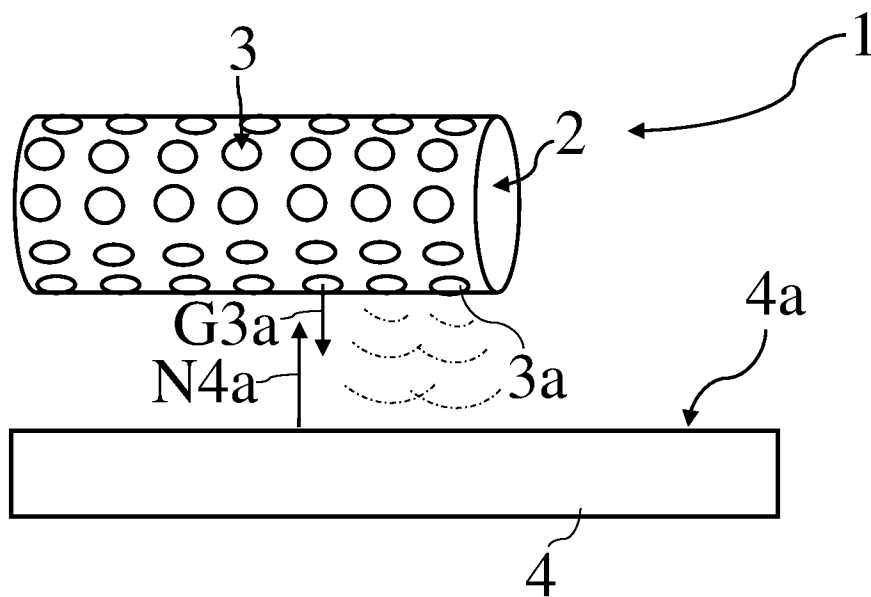


Fig. 1a

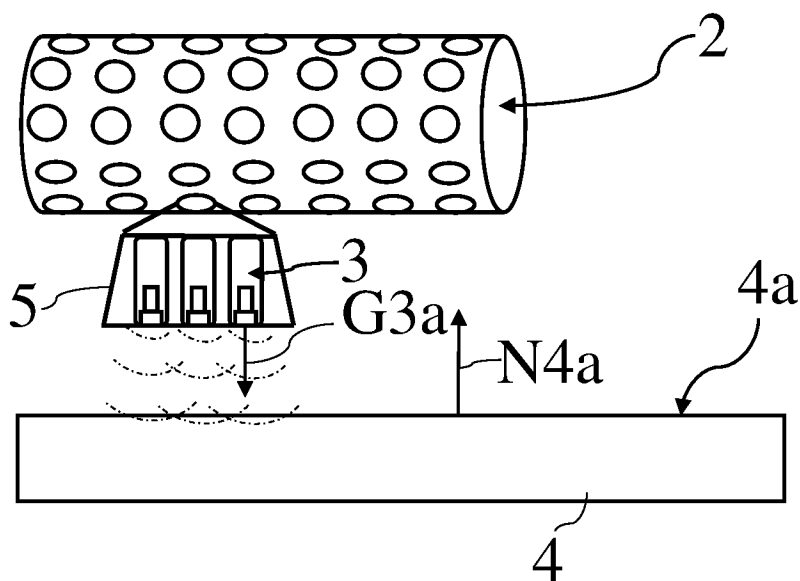


Fig. 1b

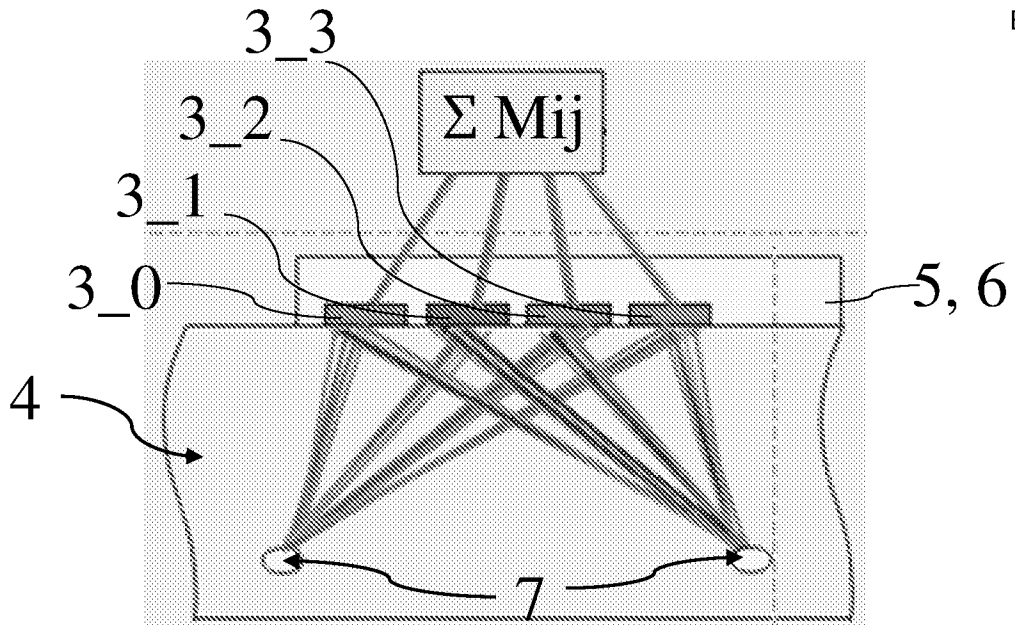


Fig. 2a

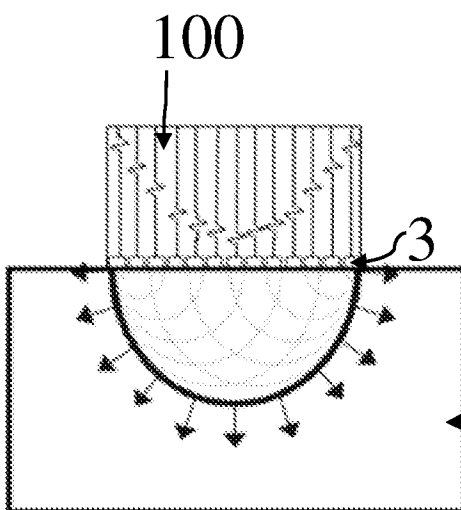
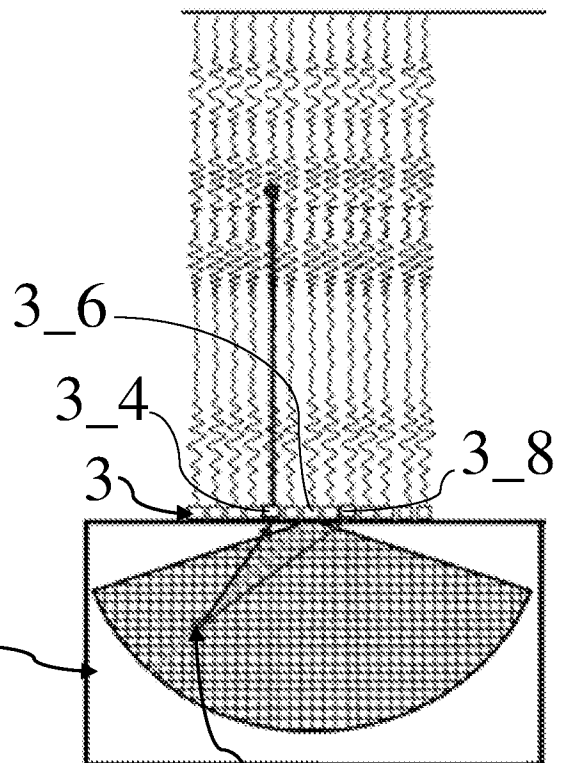


Fig. 2b



7

Fig. 2c

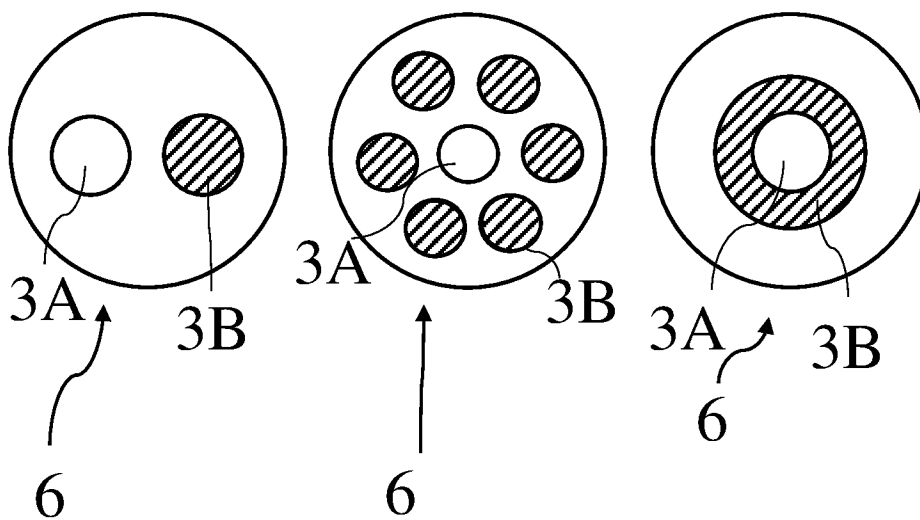


Fig. 3a

Fig. 3b

Fig. 3c

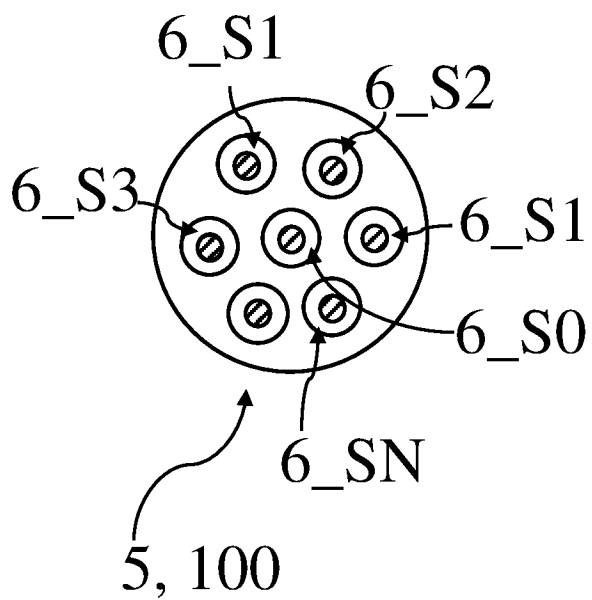


Fig. 4

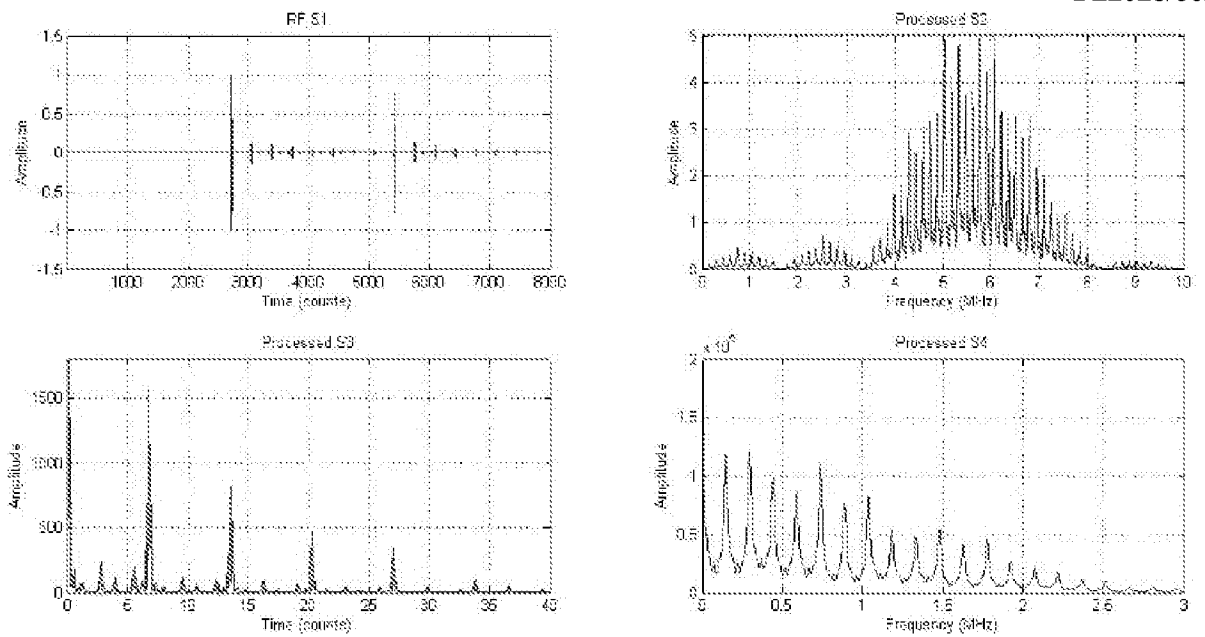


Fig. 5

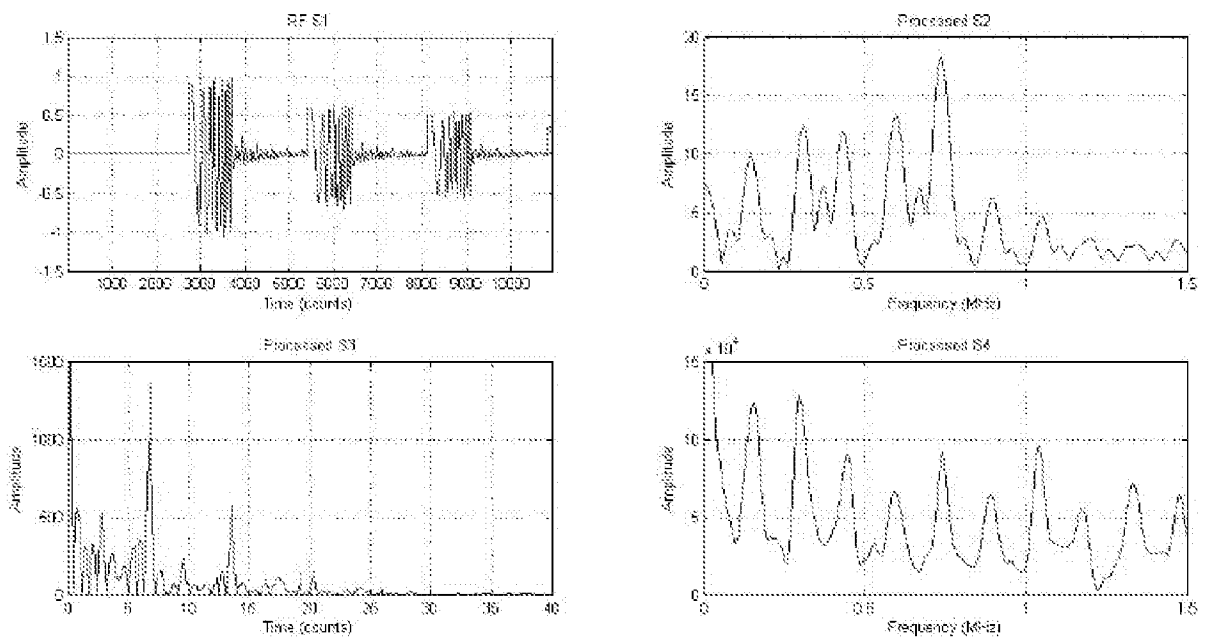


Fig. 6

RECHERCHENBERICHT
 nach Artikel XI.23., §2 und §3
 des belgischen Wirtschaftsgesetzbuches

BO 12796
 BE 202305625

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 10 365 389 B2 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC [US]) 30. Juli 2019 (2019-07-30)	1-5, 7-9	INV. G01N29/07
A	* Zusammenfassung; Abbildungen 2A-3C * * Spalte 5, Zeile 11 - Zeile 59 * -----	6	
X	US 2021/293639 A1 (YANG LONG [CN] ET AL) 23. September 2021 (2021-09-23) * Zusammenfassung; Abbildungen 4-8 * * Absätze [0002], [0061] - [0072] * -----	1, 9	
X	US 4 567 747 A (MATAY ISTVAN M [US]) 4. Februar 1986 (1986-02-04) * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 2A * * Spalte 5, Zeile 51 - Spalte 7, Zeile 30 * -----	1, 9	
X	US 2005/183505 A1 (KONO NAOYUKI [JP] ET AL) 25. August 2005 (2005-08-25) * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 3A-6 * * Absätze [0097] - [0138] * -----	1, 9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			G01N G01V
Abschlußdatum der Recherche		Prüfer	
18. Januar 2024		Uttenthaler, Erich	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

ANHANG ZUM RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE BELGISCHE PATENTANMELDUNG NR.

BO 12796
BE 202305625

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

18-01-2024

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 10365389	B2	30-07-2019	BR 112018007364 A2	23-10-2018
			GB 2559494 A	08-08-2018
			US 2017293044 A1	12-10-2017
			WO 2017086933 A1	26-05-2017

US 2021293639	A1	23-09-2021	CN 108917805 A	30-11-2018
			EP 3835780 A1	16-06-2021
			US 2021293639 A1	23-09-2021
			WO 2020029435 A1	13-02-2020

US 4567747	A	04-02-1986	KEINE	

US 2005183505	A1	25-08-2005	CA 2496370 A1	23-08-2005
			US 2005183505 A1	25-08-2005



SCHRIFTLICHER BESCHEID

Dossier Nr. BO12796	Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 28.07.2023	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)	Anmeldung Nr. BE202305625
Internationale Patentklassifikation (IPK) INV. G01N29/07			
Anmelder ROSEN 2 HOLDING AG			

Dieser Bescheid enthält Angaben und entsprechende Seiten zu folgenden Punkten:

- ☒ Feld Nr. I Grundlage des Bescheids
- ☐ Feld Nr. II Priorität
- ☐ Feld Nr. III Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- ☐ Feld Nr. IV Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- ☒ Feld Nr. V Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- ☐ Feld Nr. VI Bestimmte angeführte Unterlagen
- ☒ Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der Anmeldung
- ☐ Feld Nr. VIII Bestimmte Bemerkungen zur Anmeldung

	Prüfer Uttenthaler, Erich
--	------------------------------

SCHRIFTLICHER BESCHEID

Feld Nr. I Grundlage des Bescheids

1. Dieser Bescheid wurde auf der Grundlage des vor dem Beginn der Recherche eingereichten Satzes von Ansprüchen erstellt.
2. Hinsichtlich der **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz**, die in der Anmeldung offenbart wurde, ist dieser Bescheid auf der Grundlage eines Sequenzprotokolls erstellt worden, das
 - a. ☐ im Anmeldezeitpunkt Bestandteil der Anmeldung war.
 - b. ☐ nach dem Anmeldedatum für die Zwecke der Recherche eingereicht wurde
 - ☐ begleitet von einer Erklärung, wonach das Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht.
3. ☐ Hinsichtlich der Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz, die in der Anmeldung offenbart wurde, ist dieser Bescheid insoweit erstellt worden, dass ein sinnvolles Gutachten ohne ein dem WIPO-Standard ST.26 entsprechendes Sequenzprotokoll erstellt werden konnte.
4. Zusätzliche Bemerkungen:

Feld Nr. V Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

Neuheit	Ja: Ansprüche 3-6, 8 Nein: Ansprüche 1, 2, 7, 9
Erfinderische Tätigkeit	Ja: Ansprüche 6 Nein: Ansprüche 1-5, 7-9
Gewerbliche Anwendbarkeit	Ja: Ansprüche: 1-9 Nein: Ansprüche:

2. Unterlagen und Erklärungen:

siehe Beiblatt

Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der Anmeldung

Es wurde festgestellt, dass die Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:

siehe Beiblatt

Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

- D1 US 10 365 389 B2 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC [US]) 30. Juli 2019 (2019-07-30)
- D2 US 2021/293639 A1 (YANG LONG [CN] ET AL) 23. September 2021 (2021-09-23)
- D3 US 4 567 747 A (MATAY ISTVAN M [US]) 4. Februar 1986 (1986-02-04)
- D4 US 2005/183505 A1 (KONO NAOYUKI [JP] ET AL) 25. August 2005 (2005-08-25)

Zu Punkt V

Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1 Neuheit und erfinderische Tätigkeit

1.1 Anspruch 1:

Anspruch 1 erfüllt aus folgenden Gründen nicht die Erfordernisse in Bezug auf Neuheit:

D1 offenbart ein akustisches Messwandlersystem zur Bestimmung einer Integrität einer Rohrleitungswand aus Karbonstahl, rostfreiem Stahl, Gusseisen oder Zement (Spalte 5, Zeilen 45-59, D1), aufweisend:

zumindest einen Messwandler (32, 34, 38, figs. 2A-2E and 70, 72, 74, 76, figs. 3A-3C, D1), der konfiguriert ist, eine akustische Welle in Richtung der Rohrleitungswand zu emittieren und eine von der Rohrleitungswand erzeugte akustische Echo-Longitudinalwelle und eine von der Rohrleitungswand erzeugte akustische Echo-Scherwelle zu detektieren (Spalte 5, Zeilen 11-44, D1); und eine mit dem Messwandler signaltechnisch verbundene Steuereinheit, die konfiguriert ist, die Integrität der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung eines Verhältnisses zwischen einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Longitudinalwelle und einer Geschwindigkeit der akustischen Echo-Scherwelle zu bestimmen (Spalte 5, Zeilen 11-44, D1).

Aus diesem Grund ist Anspruch 1 nicht neu.

Einwände gegen eine erfinderische Tätigkeit von Anspruch 1 können auch ausgehend von D2 (Zusammenfassung, Fig. 4-8 und Absätze 0002, 0061-0072) oder D3 (Zusammenfassung, Figuren 1, 2A und Spalte 5, Zeile 51 - Spalte 7, Zeile 30) oder D4 (Zusammenfassung, Fig. 1, 3A-6 sowie Absätze 0097-0105, 0127-0138) gemacht werden.

1.2 Anspruch 9:

Obiger Einwand gegen die Neuheit von Anspruch 1 gilt ebenfalls, mutatis mutandis, für den entsprechenden Verfahrensanspruch 9.

Aus diesem Grund ist Anspruch 9 ebenfalls nicht neu.

Es wird angemerkt, dass Anspruch 9 auf ein computerimplementiertes Verfahren ausgerichtet ist, allerdings nicht-generische Datenverarbeitungsschritte umfasst, die die Anwendung technischer Merkmale zusätzlich zu einem Computer, insbesondere Messwandler, erfordern.

1.3 Abhängige Ansprüche:

Die abhängigen Ansprüche 2-5, 7 und 8 scheinen keine Merkmale zu enthalten, die in Kombination mit Anspruch 1 die Erfordernisse des EPÜ in Bezug auf Neuheit bzw. erfinderische Tätigkeit erfüllen. Diese Ansprüche beschreiben Merkmale, die ausgehend von der D1 bekannt sind oder naheliegend sind:

Anspruch 2, nicht neu: siehe array 34, 38, fig. 2E, D1;

Ansprüche 3-5 nicht erfinderisch: siehe Spalte 5, Zeilen 11-44, D1;

Anspruch 7 nicht neu: siehe 30, 50, fig. 2B, D1;

Anspruch 8 nicht erfinderisch ausgehend von 34, 38, Fig. 2E, D1;

Anspruch 6 scheint die Erfordernisse des EPÜ in Bezug auf Neuheit und eine erfinderische Tätigkeit zu erfüllen. Die zusätzliche Erfassung von Laufzeit- und Amplituden-Messwerten sowie die korrespondierende Berechnung verschiedener fouriertransformierter Parameter und anschließender Darstellung in einer Matrix für eine Vielzahl von Messwandlern ist für den Fachmann nicht offensichtlich und hat den technischen Effekt abweichende Geschwindigkeitsverhältnisse einfacher und genauer zu lokalisieren und damit Fehlstellen besser zu erkennen.

Zu Punkt VII

Bestimmte Mängel in der Anmeldung

- 1 In der Beschreibung werden weder der in D1 bis D4 offenbarte einschlägige Stand der Technik noch die Dokumente selbst angegeben.