



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

(11) 1027961 B1

(47) Erteilungsdatum : 05/08/2021

(12) BELGISCHES ERFINDUNGSPATENT

(47) Veröffentlichungsdatum : 05/08/2021

(21) Antragsnummer : BE2020/5003

(22) Anmeldetag : 06/01/2020

(62) Teilantrag des früheren Antrags :

(62) Anmeldetag des früheren Antrags :

(51) Internationale Klassifikation : G01N 29/04, G01N 29/07, G01N 29/11, G01N 29/12, G01N 29/46

(30) Prioritätsangaben :

(73) Inhaber :

ROSEN Swiss AG
AG
6370, STANS
Schweiz

(72) Erfinder :

BOUAOUA Nourreddine
76189 KARLSRUHE
Deutschland

(54) Akustische Fehlstellenerkennung in einer Rohrleitung

(57)Die vorliegende Erfindung betrifft ein akustisches Sensorsystem (1) zur Bestimmung von einer Fehlstelle (2) einer Rohrleitungswand (3), aufweisend: zumindest eine Transmittereinheit (4), die konfiguriert ist, Ultraschall in Richtung einer Rohrleitungswand (3) zu emittieren und ein von der Rohrleitungswand (3) reflektiertes Ultraschallecho zu detektieren; und eine mit der zumindest einen Transmittereinheit (4) signaltechnisch verbundene Steuereinheit (5), die konfiguriert ist, eine Fehlstelle (2) der Rohrleitungswand (3) anhand einer auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen. Die Erfindung betrifft zudem ein Inline-Inspektionsgerät mit dem Sensorsystem (1), ein Verfahren zur Erkennung einer Fehlstelle (2) in einer Rohrleitungswand (3), ein Computerprogramm, ein Datenträgersignal und einen Datenspeicher.

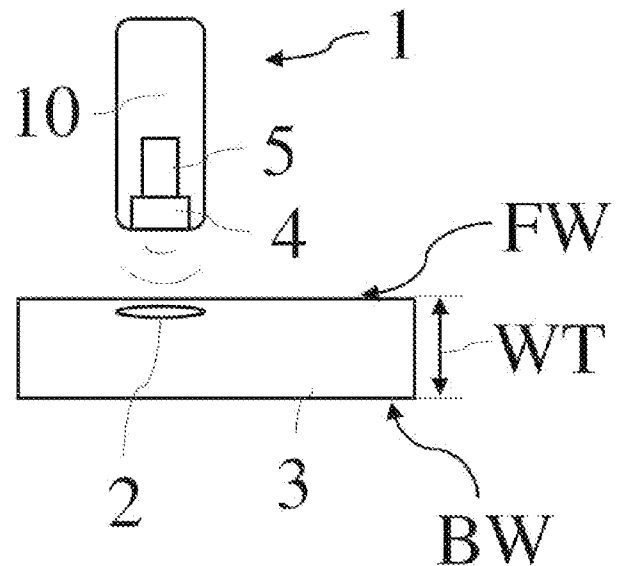


Fig. 1a

Akustische Fehlstellenerkennung in einer Rohrleitung

Technisches Gebiet

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein akustisches Sensorsystem zum Bestimmen von einer Fehlstelle einer Rohrleitungswand.

10

Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Inline-Inspektionsgerät mit dem akustischen Sensorsystem.

Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Bestimmen von Fehlstellen einer Rohrleitungswand.

15

Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Computerprogramm, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Computerprogramms durch einen Computer diesen veranlassen, Schritte des Verfahrens auszuführen.

20

Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Datenträgersignal, das das Computerprogramm überträgt.

25

Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein computerlesbares Medium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, Schritte des Verfahrens auszuführen.

Hintergrund der Erfindung

30

Bekannte Sensoren zur Erkennung von Fehlstellen, wie zum Beispiel Rissen, in Rohrleitungswänden sind in ihren Detektionseigenschaften auf bestimmte Fehlstellengrößen festgelegt. Bei der Erhöhung der Sensitivität sind aufwendige Konfigurationen und Korrekturverfahren notwendig, um eine hinreichende Genauigkeit bei der Erkennung der Fehlstellen zu erreichen.

Beschreibung der Erfindung

Ausgehend von dieser Situation ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Sensorsystem zur Fehlstellenbestimmung einer Rohrleitungswand, ein
5 verbessertes Inline-Inspektionsgerät, ein verbessertes Verfahren zur Fehlstellenbestimmung einer Rohrleitungswand, ein verbessertes Computerprogramm, ein verbessertes Datenträgersignal und ein verbessertes computerlesbares Medium anzugeben.

10 Insbesondere soll eine Konfiguration vereinfacht werden, wobei gleichzeitig die Sensitivität erhöht werden soll, so dass zum Beispiel Fehlstellen mit kleineren Dimensionen bestimmt werden können.

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

Erfindungsgemäß ist somit ein akustisches Sensorsystem zum Bestimmen von einer
20 Fehlstelle einer Rohrleitungswand angegeben. Das Sensorsystem weist zumindest eine Transmittereinheit, die konfiguriert ist, Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand zu emittieren und ein von der Rohrleitungswand reflektiertes Ultraschallecho zu detektieren, und eine mit der zumindest einen Transmittereinheit signaltechnisch verbundene
Steuereinheit auf, die konfiguriert ist, die Fehlstelle der Rohrleitungswand anhand einer
25 auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen.

Erfindungsgemäß ist weiter ein Inline-Inspektionsgerät (ILI) zur Untersuchung einer Rohrleitungswand angegeben, welches zumindest ein akustisches Sensorsystem gemäß der Erfindung oder gemäß einer der nachfolgend beschriebenen vorteilhaften
30 Ausführungsformen aufweist.

Erfindungsgemäß ist weiter ein Verfahren zum Bestimmen von einer Fehlstelle einer Rohrleitungswand angegeben. Das Verfahren weist folgende Schritte auf: Operieren

zumindest einer Transmittereinheit, um Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand zu emittieren und ein von der Rohrleitungswand reflektiertes Ultraschallecho zu detektieren; und Operieren einer mit der zumindest einen Transmittereinheit signaltechnisch verbundenen Steuereinheit, um die Fehlstelle der Rohrleitungswand anhand einer
5 auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen. Das Verfahren weist bevorzugt Schritte entsprechend Merkmalen des Sensorsystems gemäß einer der nachfolgend beschriebenen vorteilhaften Ausführungsformen auf.

Es ist bevorzugt, dass die Reihenfolge der vorgenannten Verfahrensschritte, soweit nicht
10 technisch in der vorgenannten Reihenfolge erforderlich, variiert werden kann.

Erfindungsgemäß ist weiter ein Computerprogramm angegeben, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Computerprogramms durch einen Computer diesen veranlassen, ein zuvor beschriebenes Verfahren auszuführen. Ein Computerprogramm ist eine
15 Sammlung von Anweisungen zum Ausführen einer bestimmten Aufgabe, die dafür konzipiert ist, eine bestimmte Klasse von Problemen zu lösen. Die Anweisungen eines Programms sind dafür konzipiert, durch einen Computer ausgeführt zu werden, wobei es erforderlich ist, dass ein Computer Programme ausführen kann, damit es funktioniert.

20 Erfindungsgemäß ist weiter ein Datenträgersignal angegeben, das das vorbeschriebene Computerprogramm nachdem überträgt.

Erfindungsgemäß ist weiter ein computerlesbares Medium angegeben, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, ein zuvor
25 beschriebenes Verfahren auszuführen.

Nachfolgend werden die Grundidee der Erfindung und einzelne Aspekte des beanspruchten Erfindungsgegenstandes erläutert und weiter nachfolgend bevorzugte modifizierte Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Erläuterungen,
30 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.

Grundidee der vorliegenden Erfindung ist es also, Ultraschallsensoren zur Detektion von Fehlstellen zu nutzen. Insbesondere können Fehlstellen in Form von Korrosion, Beulen und Rissen erkannt werden. Die Risse können beliebig ausgebildet sein. Beispielsweise können zu den Ultraschallsensoren schräg verlaufende Risse detektiert werden. Zudem
5 können Größe und Form von Rissen verschiedener Formen, wie z. B: kreisförmiger Risse, abgewinkelter Risse oder Schrägrisse erkannt werden. Hierbei ist es nicht erforderlich, in Bezug auf die verschiedenen Rissformen das System speziell zu konfigurieren. Weiterhin kann die Geometrie der Rohrleitung bestimmt werden. Winkelstrahlsonden sind nicht erforderlich.

10

Bei der Detektion von Fehlstellen wird berücksichtigt, dass ein Großteil des Ultraschallecho-Signals durch eine Reflektion an einer intakten Innenwand der Rohrleitung von der Transmittereinheit detektierbar ist. Im Falle einer Korrosion der Innenwand ist an der Transmittereinheit eine Änderung des Signals entsprechend einer
15 Änderung des Ultraschallechos feststellbar. Es hat sich hierbei überraschenderweise herausgestellt, dass eine einzige Transmittereinheit für das Sensorsystem ausreicht, um Korrosion zuverlässig detektieren zu können. Es ist kein komplexer Aufbau notwendig. In anderen Worten kann eine einzige Transmittereinheit zunächst über eine Strahlenaustrittsfläche Ultraschall emittieren. Über ihre Strahlenaustrittsfläche, welche
20 dann ihrer Strahleneintrittsfläche entspricht, kann die Transmittereinheit das Ultraschallecho detektieren. Im Falle eines Einbaus des Sensorsystems in einem Inline-Inspektionsgerät (ILI) reicht demnach die einzige Transmittereinheit je Kreissektor einer Querschnittsfläche der Rohrleitung aus, um Korrosion zu erkennen. Je nach Anzahl der Kreissektoren, in welche die Querschnittsfläche geteilt ist, wird eine entsprechende
25 Anzahl von Sensorsystemen gewählt. Je Kreissektor ist aber nur eine einzige Transmittereinheit erforderlich, von der separat zu anderen Sensoreinheiten Fehlstellen erkannt werden.

30

Zur Detektion von Korrosion ist mit Vorteil daher sehr wenig Konfigurationsaufwand aufzubringen, da es nicht notwendig ist, mehrere Transmittereinheiten anzusteuern oder Signale von diesen abzuhören und auszuwerten. Auch fällt wenig Ansteuerungselektronik an, welche in einem Sensorsystem oder in einem ILI eingesetzt werden müsste. Dies ermöglicht besonders kompakte Aufbauten von Sensorsystemen

und auch ILIs, insbesondere, wenn diese zur Inspektion von korrosionsbefallenen Rohrleitungen eingesetzt werden sollen. Mehrere Transmittereinheiten können beispielsweise eingesetzt werden, um eine Redundanz und damit eine Zuverlässigkeit von Messergebnissen zu erhöhen.

5

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinheit konfiguriert ist, zumindest eine erste Transmittereinheit des Sensorsystems anzusteuern, zum Emittieren von Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand und zum Detektieren eines von der Rohrleitungswand reflektierten Ultraschallechos; temporär
10 zumindest eine zweite Transmittereinheit des Sensorsystems anzusteuern, zum Detektieren des von der Rohrleitungswand reflektierten Ultraschallechos; und die Fehlstelle der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen.

- 15 In diesem Zusammenhang ist die Bezeichnung „erste Transmittereinheit“ bzw. „zweite Transmittereinheit“ auf die Art der Ansteuerung bezogen. Die zweite Transmittereinheit wird dabei lediglich zeitweise angesteuert.

- In anderen Worten reichen zur zuverlässigen Detektion von Rissen mit Vorteil zwei
20 Transmittereinheiten bereits aus. Das Verwenden von der zweiten Transmittereinheit nur temporär zum Detektieren von Ultraschallechos und eben nicht zum Emittieren von Ultraschall hat den Vorteil, dass die zweite Transmittereinheit nicht mit einer Spannung beaufschlagt wird, um ein Ultraschallsignal zu emittieren. Hierdurch kann mit Vorteil das Signal-Rausch-Verhältnis erheblich verbessert werden, was eine verbesserte
25 Sensitivität der Fehlstellen-Erkennung ermöglicht, wobei gleichzeitig ein Konfigurationsaufwand aufgrund der Filterung von detektierten Signalen erheblich verringert wird. Mehr als zwei Transmittereinheiten könnten verwendet werden, um eine Zuverlässigkeit der Detektion zu verbessern.

- 30 Vorteilhafterweise werden Ultraschallecho-Signale ausgewertet, welche durch ein ledigliches Ansteuern der ersten Transmittereinheit, oder durch ein Ansteuern von der ersten Transmittereinheit und der zweiten Transmittereinheit erzeugt bzw. detektiert werden. Dabei wird berücksichtigt, dass ein Großteil des Ultraschallecho-Signals durch

eine Reflektion an einer intakten Innenwand der Rohrleitung von der ersten Transmittereinheit detektierbar ist. Im Falle einer Korrosion der Innenwand ist an der ersten Transmittereinheit eine Änderung des Signals entsprechend einer Änderung des Ultraschallechos feststellbar. Hierbei muss die zweite Transmittereinheit nicht
5 angesteuert werden, um Ultraschallechos zu detektieren. Auch wenn die erste und die zweite Transmittereinheit jeweils von der Steuereinheit angesteuert werden, ist eine Signaländerung an der ersten Transmittereinheit und an der zweiten Transmittereinheit feststellbar. Ein Riss kann in diesem Fall erkannt werden. Im Fall, dass ein Riss in der Rohrleitung ist, wird eine Signaländerung erkannt. Bei besonders kleinen Rissen ist dies
10 mit Vorteil bereits durch die zweite Transmittereinheit detektierbar. Bei Auftreten eines Risses wird ein Teil des Ultraschalls durch den Riss blockiert. Ein Teil des Ultraschalls wird durch den Riss reflektiert. Im Fall einer Lokalisierung des Risses zwischen Ultraschallaustritts- bzw. -Eintrittsflächen der emittierenden Transmittereinheit und der detektierenden Transmittereinheit verringert sich eine Stärke des detektierten Signals des
15 Ultraschallechos. Im Falle einer Annäherung von emittierender und reflektierender Transmittereinheit zu dem Riss steigt eine Stärke des Signals an im Vergleich zu einem Signal, welches durch eine intakte Rohrrinnenwand emittiert wird und welches dann detektiert wird. Transmittereinheiten, welche in dem vorgenannten Ultraschall-Frequenzbereich operieren, sind besonders geeignet für Korrosions- und Risserkennung
20 in einer Rohrleitung. Hierbei besteht keine Grenze bei der Erkennung der Tiefe der Risse und auch der Vermessung von tiefen Rissen. Weiterhin können an den Rohrleitungen Ablösungen von Beschichtungen der Rohrwände erkannt werden. Bevorzugt werden die Transmittereinheiten derart bezüglich der Rohrrinnenwand ausgerichtet, dass der Ultraschall näherungsweise entsprechend einem Normalstrahl auf die Oberfläche der
25 Rohrrinnenwand auftrifft.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest eine Transmittereinheit zum Aussenden und Detektieren von niederfrequentem Ultraschall ausgebildet ist, wobei ein Betrag einer Wellenlänge des
30 niederfrequenten Ultraschalls größer/gleich ist als ein Betrag einer Wanddicke der Rohrleitungswand. Insbesondere verhält sich der Betrag der Wellenlänge des niederfrequenten Ultraschalls zu dem Betrag der Wanddicke WT der Rohrleitungswand gemäß $2 \cdot WT/n$, wobei n eine natürliche Zahl ist. Die niederfrequent operierende(n)

Transmittereinheit(en) wird/werden somit für eine niederfrequente Ultraschallprüfung (engl. "low frequency ultrasonic testing", bzw. LFUT) verwendet. Denkbar ist, dass sowohl die ständig zum Senden und Detektieren angesteuerte(n) Transmittereinheit(en) als auch die temporär zum Detektieren angesteuerte(n) Transmittereinheit(en) zum

5 Aussenden und/oder Detektieren von niederfrequentem Ultraschall ausgebildet ist/sind. Niederfrequenter Ultraschall umfasst einen Frequenzbereich von 100 kHz bis 1,5 MHz. Bevorzugt ist ein Operieren in einem niederfrequenten Frequenzbereich von 500 KHz oder 600 KHz. Insbesondere ist/sind die Transmittereinheit(en) als Breitbandsensor ausgebildet. Die Rohrleitungen können dabei sowohl gas- als auch wasser- oder

10 ölführend sein. Es können Risse mit einer Tiefe von 2 mm und größeren Tiefen erkannt und vermessen werden. Die Tiefe eines Risses ist eine Strecke längs einer gemessenen Wanddicke zwischen der Innenwand der Rohrleitung und einer Außenwand der Rohrleitung. Es können verunreinigte Rohrleitungen oder Rohrleitungen mit Wachs an den Innenwänden untersucht werden. Zuletzt können selbst Rohrleitungen mit dicken

15 Innenbeschichtungen auf Fehlstellen untersucht werden.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest eine Transmittereinheit zum Aussenden und Detektieren von hochfrequentem Ultraschall ausgebildet ist. Die hochfrequent operierende(n) Transmittereinheit(en)

20 wird/werden somit für eine hochfrequente Ultraschallprüfung (engl. "high frequency ultrasonic testing", bzw. HFUT) verwendet. Denkbar ist, dass sowohl die ständig zum Senden und Detektieren angesteuerte(n) Transmittereinheit(en) als auch die temporär zum Detektieren angesteuerte(n) Transmittereinheit(en) zum Aussenden und/oder Detektieren von hochfrequentem Ultraschall ausgebildet ist/sind. Hochfrequenter

25 Ultraschall umfasst einen Frequenzbereich in einer Größenordnung von Megahertz ab einer Frequenz von über 1,5 MHz. Die Rohrleitungen können dabei gas-, wasser- oder ölführend sein. Es können Risse mit einer Tiefe von 0,5 mm und größeren Tiefen erkannt und vermessen werden. Weiterhin können sehr kleine Korrosionsstellen erkannt werden, zum Beispiel Lochfraß. Insbesondere wird bei der Verwendung von Transmittereinheiten

30 mit hochfrequentem Ultraschall ein mathematisches Modell zur Bestimmung absoluter Größen von Fehlstellen verwendet.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Sensorsystem zumindest eine Transmittereinheit aufweist, welche zum Aussenden und Detektieren von niederfrequentem Ultraschall ausgebildet ist und zumindest eine Transmittereinheit aufweist, welche zum Aussenden und Detektieren von

5 hochfrequentem Ultraschall ausgebildet ist. Hierdurch ist das Sensorsystem universal für die vorgenannten Anwendungsfelder anwendbar, unter Verwendung beider Frequenzspektren.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass,

10 insbesondere bei lediglich Ansteuern der ersten Transmittereinheit oder Ansteuern der ersten und der zweiten Transmittereinheit, die Steuereinheit konfiguriert ist, zur Bestimmung von Korrosion die Änderung des Ultraschallechos entsprechend einer von der Korrosion erzeugten Änderung einer Ultraschallecho-Divergenz auszuwerten. Die Ultraschallecho-Divergenz wird berücksichtigt unter der Annahme, dass sich emittierter

15 Ultraschall und auch ein Echo annäherungsweise strahlenförmig ausbreiten. Die Ultraschallecho-Divergenz entspricht einem Strahlquerschnitt eines an der Rohrleitungswand gestreuten Ultraschallecho-Strahls in Bezug auf eine bestimmte Distanz, d. h. einer Art Öffnungswinkel des Ultraschallstrahls des Ultraschall-Echos. Die Korrosionserkennung wird hiermit besonders zuverlässig aufgrund einer redundanten

20 Bestimmbarkeit von korrosionsbedingten Fehlstellen.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass, insbesondere im Falle eines temporären Ansteuerns der zweiten Transmittereinheit, die Steuereinheit konfiguriert ist, eine Wanddicke der Rohrleitungswand anhand einer

25 Differenz zwischen einem Innenwandecho-Zeitpunkt und einem Außenwandecho-Zeitpunkt zu bestimmen. Ein Innenwandecho ist ein Echo, welches von einer dem Transmitter zugewandten Rohrleitungsseite in Richtung des Transmitters reflektiert wird. Ein Außenwandecho ist ein Echo, welches von einer dem Transmitter abgewandten, den Außenmantel der Rohrleitung bildenden Rohrleitungsseite in Richtung des Transmitters

30 reflektiert wird. Die vorteilhafte Ausführungsform hat den Vorteil, dass ohne große Filterung eines Signals aus dem detektierten Ultraschallecho eine Wanddicke der Rohrleitung bestimmt werden kann. Mit Vorteil wird ein solches Bestimmungsverfahren bei der Verwendung einer hochfrequent operierenden Transmittereinheit verwendet.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass, insbesondere im Falle eines temporären Ansteuerns der zweiten Transmittereinheit, die Steuereinheit konfiguriert ist, eine Wanddicke der Rohrleitungswand anhand von zumindest zwei Resonanzfrequenzen des Außenwandechos oder anhand von zumindest
5 einer Resonanzfrequenz des Außenwandechos und einer Dauer der zumindest einen Resonanzfrequenz des Außenwandechos zu bestimmen. Die Resonanzfrequenz ist die Frequenz, bei der eine Amplitude der schwingungsfähigen Rohrleitungswand größer ist als bei Anregung durch benachbarte Frequenzen (Amplitudenresonanz). Insbesondere werden neben den Resonanzfrequenzen auch deren korrespondierende Harmonische
10 verwendet. Mit Vorteil ein solches Bestimmungsverfahren unter Verwendung der Resonanzfrequenzen bei der Verwendung einer niederfrequent operierenden Transmittereinheit verwendet.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass,
15 insbesondere im Falle eines temporären Ansteuerns der zweiten Transmittereinheit, die Steuereinheit konfiguriert ist, eine Wanddicke der Rohrleitungswand anhand von zumindest einem Außenwandecho-Zeitpunkt und zumindest einer Periodendauer eines Außenwandechos zu diesem zumindest einen Außenwandecho-Zeitpunkt zu bestimmen. Die Periodendauer ist die Fouriertransformierte einer Frequenz des Außenwandechos.
20 Dieses Verfahren ist mit Vorteil für die Auswertung von Signalen hochfrequent betriebener oder niederfrequent betriebener Transmittereinheiten anwendbar. Das zusätzliche Verwenden der Außenwandecho-Zeitpunkte erfolgt insbesondere, um ein Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern. Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinheit konfiguriert ist,
25 eine Wanddicke der Rohrleitungswand anhand eines Außenwandecho-Zeitpunkts und zumindest einer Periodendauer eines Außenwandechos zu diesem Außenwandecho-Zeitpunkt eines mittels schnellen Fouriertransformation (FFT) zweiten Grades transformierten Ultraschallsignals zu bestimmen.

30 Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass, insbesondere im Falle eines temporären Ansteuerns der zweiten Transmittereinheit, die Steuereinheit konfiguriert ist, eine Rissdetektion und eine Riss-Größenbestimmung anhand von Amplituden/Integralen von Anteilen eines unverarbeiteten Ultraschallsignals,

eines Fourier transformierten Ultraschallsignals ersten Grades, oder eines Fourier transformierten Ultraschallsignals zweiten Grades vorzunehmen. Insbesondere ist der Signalanteil ein Außenwandecho und/oder (eine) Resonanzfrequenz.

- 5 Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist bevorzugt vorgesehen, dass, insbesondere im Falle eines temporären Ansteuerns der zweiten Transmittereinheit, die Steuereinheit konfiguriert ist, eine Rissdetektion und eine Riss-Größenbestimmung anhand von zumindest einer Amplitude von zumindest einer Resonanzfrequenz und/oder
- 10 modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist bevorzugt vorgesehen, dass, insbesondere im Falle eines temporären Ansteuerns der zweiten Transmittereinheit, die Steuereinheit konfiguriert ist, eine Rissdetektion und eine Riss-Größenbestimmung anhand von Amplituden von Resonanzfrequenzen und/oder einer Amplitude eines Außenwandechos durchzuführen. Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform
- 15 der Erfindung ist vorgesehen, dass, insbesondere im Falle eines temporären Ansteuerns der zweiten Transmittereinheit, die Steuereinheit konfiguriert ist, eine Rissdetektion und eine Riss-Größenbestimmung anhand von Amplituden von Resonanzfrequenzen und/oder Amplituden eines Außenwandechos durchzuführen. Gemäß einer ganz besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die
- 20 Steuereinheit konfiguriert ist, eine Rissdetektion und eine Riss-Größenbestimmung anhand von Amplituden von Resonanzfrequenzen in einer Frequenzebene und/oder (einer) Amplitude(n) eines Außenwandechos eines mittels FFT zweiten Grades transformierten Ultraschallsignals durchzuführen. Mit Vorteil wird ein solches Bestimmungsverfahren bei der Verwendung einer/mehrerer niederfrequent oder
- 25 einer/mehrerer hochfrequent operierenden Transmittereinheit(en) verwendet.

- Gemäß einer modifizierten Ausführungsform ist die Steuereinheit konfiguriert, eine Rissdetektion und -Größenbestimmung bei Signalen von niederfrequentem Ultraschall anhand von zumindest einer Amplitude von zumindest einer Resonanzfrequenz
- 30 durchzuführen. Gemäß einer modifizierten Ausführungsform ist die Steuereinheit konfiguriert, eine Rissdetektion und -Größenbestimmung bei Signalen von hochfrequentem Ultraschall anhand von zumindest einer Amplitude von zumindest einem Außenwandecho, insbesondere anhand von einer Periodizität/Wiederholungsrate

von zumindest einem Außenwandecho, durchzuführen. Im Falle einer Bestimmung von Rissen anhand von hochfrequenten Signalen ist dieses Signal insbesondere Fourier transformiert.

- 5 Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinheit konfiguriert ist, bei einer Auswertung von Rohdaten eines Signals (Rohsignals), bei dem eine Amplitude gegen die Zeit aufgetragen ist, Risse in einer Größenordnung von 2mm bei einem hochfrequenten Ultraschallsignal zu erkennen.
- 10 Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinheit konfiguriert ist, bei einer Auswertung von einer Fouriertransformierten ersten Grades eines Signals Risse in einer Größenordnung von 2mm bei einem hochfrequenten Ultraschallsignal zu erkennen. Weiterhin ist die Steuereinheit zur Erkennung einer Risstiefe anhand einer Größe von Amplitude/Integral von
- 15 Signalanteilen konfiguriert. Außerdem ist die Steuereinheit zur Erkennung eines Risses anhand einer Mode in einem Frequenzbereich in einer Größenordnung des Dreifachen einer Scherwelle oder des 1,6-fachen einer Longitudinalmode konfiguriert.

- 20 Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Steuereinheit konfiguriert ist, bei einer Auswertung von einer Fouriertransformierten zweiten Grades eines Signals Risse in einer Größenordnung von 2mm bei einem hochfrequenten Ultraschallsignal zu erkennen. Weiterhin ist die Steuereinheit zur Erkennung einer Risstiefe anhand einer Größe von Amplitude/Integral von
- 25 Signalanteilen konfiguriert. Außerdem ist die Steuereinheit konfiguriert, eine Rissgröße bei einem Signalanteil von hochfrequentem Ultraschall anhand von zumindest einer Amplitude oder einem Integral von zumindest einem Außenwandecho zu bestimmen.

- 30 Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Abschwächung des Ultraschallechos proportional zu einer Tiefe der Fehlstelle ist.
- 30 Aufgrund des linearen Zusammenhangs lässt sich besonders einfach eine Risstiefe anhand der Amplitude bestimmen.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Transmittereinheit konfiguriert ist, phasenabhängig Ultraschall zu emittieren oder Ultraschall zu detektieren. Eine solche Ausgestaltung der Transmittereinheit ist besonders vorteilhaft bei Sensorsystemen, welche kompakt ausgestaltet werden müssen.

- 5 Beispielsweise kann die erste Transmittereinheit als eine phasenabhängig Ultraschall emittierende und detektierende Baueinheit ausgestaltet sein.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist an dem Sensorsystem eine einzige Transmittereinheit vorgesehen, die konfiguriert ist, reflektierten Ultraschall
10 zu detektieren, und mehrere, um die einzige Transmittereinheit angeordnete, Transmittereinheiten, die jeweils konfiguriert sind, Ultraschall zu senden. Die Anordnung der Transmittereinheiten zueinander ist in Bezug auf eine Ultraschalleintritts- bzw. Ultraschallaustrittsfläche definiert. Die Anordnung der Transmittereinheiten ist dabei so, dass die Ultraschallaustritts- bzw. eintrittsflächen aller Transmittereinheiten in
15 einer gemeinsamen Ebene liegen. Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass bei Verwendung einer einzigen, insbesondere mittig, angeordneten Transmittereinheit zum Detektieren der Ultraschallechos eine besonders gute Sensitivität für kleinere Risse erreicht werden kann. Bei einer mittigen Anordnung der einzigen Transmittereinheit ist die Sensitivität dabei besonders gut. Die umlegenden Transmittereinheiten, welche
20 Ultraschall emittieren, emittieren somit besonders viel Energie, welche durch das Gas in einer Rohrleitung propagieren und die Rohrleitungswand durchdringen kann, so dass auch besonders gute Messsignale erreicht werden können. Weiterhin können die Effekte von Fehlausrichtungen des Sensorsystems mit Vorteil ausgeglichen werden.

- 25 Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die zweite Transmittereinheit durch einen an ihrer Ultraschallaustrittsfläche einstückigen Ring gebildet ist und, vorzugsweise konzentrisch, innerhalb des Rings eine Ultraschalleintrittsfläche der ersten Transmittereinheit angeordnet ist. Eine einstückige Ausbildung des Rings meint vor allem eine geschlossene einstückige
30 Ultraschallaustrittsfläche der zweiten Transmittereinheit. Hierbei hat sich herausgestellt, dass die für die vorherige Ausführungsform beschriebenen Effekte noch deutlicher bei dieser besonders vorteilhaften Ausführungsform auftreten. Gemäß einer weiter besonders bevorzugten Ausführungsform ist die zweite Transmittereinheit konzentrisch derart zu

der ersten Transmittereinheit angeordnet, dass die erste und die zweite Transmittereinheit einen gemeinsamen Kreismittelpunkt aufweisen. Die erste Transmittereinheit ist insbesondere kreisförmig ausgestaltet. Bei vorbeschriebenen Ausführungsformen ist es insbesondere möglich, ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis bei einer Abweichung der

5 Ausrichtung eines niederfrequenten Ultraschallstrahls zu der Rohrwand von 2 Grad zu einer Oberflächennormalen einer Rohrwand bei einer Wanddicke von über 30 mm zu erhalten. Bei dünneren Wanddicken sind noch größere Abweichungen bei der Ausrichtung möglich, bei immer noch ausreichendem Signal-Rausch-Verhältnis. Bei hochfrequentem Ultraschall kann mit einer Abweichung von einem Grad zur

10 Oberflächennormalen ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis erreicht werden. Letztes gilt insbesondere bei Wanddicken von 30 mm und mehr. Bei geringeren Wanddicken kann auch bei hochfrequentem Ultraschall mit einer Abweichung von mehr als einem Grad zur Oberflächennormalen ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis erreicht werden.

15 Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung weist das Sensorsystem genau zwei Transmittereinheiten auf, von denen die erste Transmittereinheit konfiguriert ist, reflektierten Ultraschall zu detektieren, und die zweite Transmittereinheit konfiguriert ist, Ultraschall zu senden. Dies ist eine besonders kompakte Ausführungsform des Sensorsystems, bei der sowohl Detektion von Korrosion als auch Detektion von Rissen

20 oder andersartigen Fehlstellen möglich ist.

Gemäß einer modifizierten Ausführungsform der Erfindung weist das Sensorsystem eine Vielzahl von Transmittereinheiten auf, wobei Ultraschallaustritts- und -eintrittsflächen der Transmittereinheiten kreisförmig angeordnet sind. Eine kreisförmige Anordnung

25 meint beispielsweise, dass die Transmittereinheiten mit ihrem jeweiligen Mittelpunkt der Ultraschallaustritts- bzw. eintrittsflächen auf einem Fiktionskreis angeordnet sind. Hierbei kann eine Transmittereinheit, welche lediglich zum Detektieren ausgestaltet ist, in einer Kreismitte angeordnet sein. Bei einer kreisförmigen Anordnung Austritts-/Eintrittsflächen für Ultraschall können mit Vorteil besonders bei gasgefüllten

30 Rohrleitungen gute Signal-Rausch-Verhältnisse erreicht werden. Dies erleichtert die Bestimmung von absoluten Größen der Fehlstellen und es können besonders gut kleinere Fehlstellen detektiert werden.

Gemäß einer besonders modifizierten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die zumindest eine Transmittereinheit konfiguriert ist, über Hochspannungsschirp und/oder eine Hochspannungsspitze angeregt zu werden. Die Hochspannung zur Anregung der zumindest einen Transmittereinheit weist eine Frequenz von 200 KHz bis 1200 KHz auf. Hochspannung entspricht hier einer Spannung in einem Bereich von 10 Volt bis 250 Volt. Hierbei hat sich mit Vorteil herausgestellt, dass besonders gute Signal-Rausch-Verhältnisse erreicht werden können.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sind folgende Verfahrensschritte vorgesehen: Ansteuern zumindest einer ersten Transmittereinheit des Sensorsystems, zum Emittieren von Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand und zum Detektieren eines von der Rohrleitungswand reflektierten Ultraschallechos; temporäres Ansteuern zumindest einer zweiten Transmittereinheit des Sensorsystems, zum Detektieren des von der Rohrleitungswand reflektierten Ultraschallechos; und Bestimmen der Fehlstelle der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung des Ultraschallechos. Insbesondere umfasst, insbesondere entspricht, das Ansteuern der zumindest einen ersten Transmittereinheit einem sogenannten Pulsecho-Modus (engl. „pulse echo mode“ oder PE-Modus), bei welchem die Transmittereinheit(en) Ultraschall emittieren und ein Ultraschallecho detektieren. Bei dem PE-Modus können dabei die gleichen Transmittereinheiten, die den Ultraschall emittieren, diesen auch detektieren. Insbesondere umfasst, insbesondere entspricht, das Ansteuern der zumindest einen ersten und der zumindest einen zweiten Transmittereinheit eine(r) Kombination aus dem PE-Modus und/oder dem einem sogenannten Neigungsfang-Modus (engl. „pitch catch mode“ oder PC-Modus), bei welchem eine/mehrere Transmittereinheit(en) Ultraschall emittiert/emittieren und eine/mehrere andere Transmittereinheit(en) ein Ultraschallecho detektiert/detektieren. Mit dem vorgenannten Verfahren ist es möglich, sowohl Korrosion als auch Risse oder andere Fehlstellen zu erkennen. Hierbei ist eine besonders hohe Sensitivität dadurch erreichbar, dass die zweite Transmittereinheit nicht mit einer Spannung beaufschlagt wird, um Ultraschall zu emittieren, sondern nur zum Detektieren von Ultraschallechos verwendet wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

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

In den Zeichnungen zeigen

- 10 Figur 1a eine schematische Ansicht eines Sensorsystems gemäß einer ersten Ausführungsform;
- Figur 1b eine schematische Ansicht eines Sensorsystems gemäß einer zweiten Ausführungsform;
- Figur 2a eine schematische Draufsicht auf eine Ultraschalleintritts-/Austrittsfläche einer Baueinheit eines Sensorsystems gemäß einer dritten
15 Ausführungsform;
- Figur 2b eine schematische Draufsicht auf eine Ultraschalleintritts-/Austrittsfläche einer Baueinheit eines Sensorsystems gemäß einer vierten Ausführungsform;
- Figur 2c eine schematische Draufsicht auf eine Ultraschalleintritts-/Austrittsfläche einer Baueinheit eines Sensorsystems gemäß einer fünften
20 Ausführungsform; und
- Figur 3 ein Flussdiagramm eines Verfahrens nach einem Ausführungsbeispiel.

25 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
30 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.

Die Figur 1a zeigt eine schematische Ansicht eines Sensorsystems 1 gemäß einer ersten Ausführungsform. Das Sensorsystem 1 eignet sich zum Erkennen von Fehlstellen 2 einer Rohrleitungswand 3. Die Rohrleitungswand 3 ist aus Metall, z. B. aus Stahl. Das Sensorsystem 1 weist eine Transmittereinheit 4 und eine Steuereinheit 5 auf. Die Transmittereinheit 4 und die Steuereinheit 5 sind in einer gemeinsamen Baueinheit 10 integriert. Die Transmittereinheit 4 ist konfiguriert, Ultraschall zu emittieren und Ultraschall zu empfangen, welcher in Form von Ultraschallechos von einer Rohrleitungswand 3 reflektiert wird.

Die Transmittereinheit 4 ist zum Aussenden und Detektieren von hochfrequentem Ultraschall ausgebildet. Hierbei emittiert die Transmittereinheit 4 hochfrequenten Ultraschall mit einer Frequenz in einem Bereich von 3 bis 5 MHz. Hierdurch bestimmt das Sensorsystem 1 beispielsweise Korrosion oder Ablösungen von Beschichtungen in flüssigkeitsführenden Rohrleitungen, welche beispielsweise öl- oder wasserführend sind.

Alternativ ist die Transmittereinheit 4 zum Aussenden und Detektieren von niederfrequentem Ultraschall ausgebildet. Hierbei emittiert die Transmittereinheit 4 niederfrequenten Ultraschall mit einer Frequenz in einem Bereich von 500 bis 600 KHz. Hierdurch bestimmt das Sensorsystem 1 beispielsweise Korrosion oder Ablösungen von Beschichtungen in gas- oder flüssigkeitsführenden Rohrleitungen. Beispielsweise kann Gas mit einem Druck von 10^7 Pa in der Rohrleitung vorliegen.

Nachfolgend wird für die Transmittereinheit 4 auch die Bezugszeichen 4A, 4B, 4a, 4b vergeben. Letztere Bezugszeichen beziehen sich auf eine bauliche Form der Transmittereinheiten 4, 4A, 4B, 4a, 4b, wobei alle Transmittereinheiten 4, 4A, 4B, 4a, 4b als erste oder als zweite Transmittereinheit angesteuert werden können.

Die Figur 1b zeigt eine schematische Ansicht eines Sensorsystems 1 gemäß einer zweiten Ausführungsform. Das Sensorsystem 1 des Ausführungsbeispiels der Fig. 1b ist geeignet, um Korrosion, Risse und Ablösungen von Beschichtungen an bzw. in einer Rohrleitungswand 3 zu erkennen, welche flüssigkeitsführend ist.

Das Sensorsystem 1 umfasst zwei Baueinheiten 10, welche räumlich voneinander getrennt sind. Die Baueinheiten 10 können zueinander in einem Abstand, beispielsweise von 5 cm, fixiert sein, oder relativ zueinander beweglich ausgestaltet sein. Die Baueinheiten 10 des Sensorsystems 1 umfassen jeweils eine Steuereinheit 5 und eine Transmittereinheit 4A, 4B. Alternativ kann gemäß einer nicht dargestellten Ausführungsform eine gemeinsame Steuereinheit 5 für beide Transmittereinheiten 4A, 4B vorgesehen sein. Die Steuereinheit 5 muss nicht innerhalb einer der Baueinheiten 10 des Sensorsystems 1 integriert sein. In der Ausführungsform sind zwei Baueinheiten 10 mit jeweils einer Transmittereinheit 4A, 4B dargestellt. Es können auch mehr als diese zwei Baueinheiten 10 mit jeweiliger Transmittereinheit 4A, 4B vorgesehen sein.

Die Transmittereinheiten 4A, 4B werden unterschiedlich von der Steuereinheit 5 angesteuert: Die erste Transmittereinheit 4A wird zum Betreiben eines Pulsecho-Modus angesteuert (engl. „pulse echo mode“ oder PE-Modus), sowie zum Betreiben eines Neigungsfang-Modus (engl. „pitch catch mode“ oder PC-Modus). Zusätzlich kann die erste Transmittereinheit gleichzeitig in dem Neigungsfang-Modus und in dem PE-Modus angesteuert werden (siehe hierzu auch Ausführungen zu dem Flussdiagramm in Fig. 3). Der PC-Modus wird nachfolgend auch mit „PC“ abgekürzt und der PE-Modus wird nachfolgend auch mit „PE“ abgekürzt. In beiden zuvor beschriebenen Modi PE, PC emittiert die erste Transmittereinheit 4A Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand 3 und detektiert von der Rohrleitungswand 3 reflektierte Ultraschallechos. Die zweite Transmittereinheit 4B wird im PC-Modus (siehe hierzu ebenfalls Ausführungen zu Fig. 3) angesteuert, um das von der Rohrleitungswand 3 reflektierte Ultraschallecho zu detektieren.

Die Steuereinheit 5 wird in beiden Modi PE und PC operiert. Die Steuereinheit 5 wertet Signale entsprechend den Ultraschallechos aus, um eine Fehlstelle 2 der Rohrleitungswand 3 anhand einer in dem Modus PE, PC auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen.

Bei einer intakten Rohrleitungswand 3 detektiert die erste Transmittereinheit 4A im PE-Modus einen Großteil des normal auf die Rohrleitungswand-Oberfläche emittierten Ultraschalls, welcher als Echo reflektiert wird. Ein geringfügiger Teil des

Ultraschallechos wird durch die zweite Transmittereinheit 4B im PC-Modus detektiert. Im Falle von Korrosion detektiert die erste Transmittereinheit 4A im PE-Modus eine signifikante Änderung des Ultraschallechos. Auch die zweite Transmittereinheit 4B detektiert im PC-Modus eine Änderung des Ultraschallechos. Die detektierten

5 Signaländerungen im PE- und im PC-Modus reichen jeweils aus, um zu bestimmen, dass Korrosion vorliegt. Im Falle eines Risses in der Rohrleitungswand 3, zum Beispiel in Form eines linearen Defekts, wird eine Änderung des Ultraschallechos im PC-Modus festgestellt. Bei der Detektion der Änderung des Ultraschallechos wird berücksichtigt, dass ein Ultraschallecho, erzeugt von der/den Transmittereinheit(en) emittiertem

10 Ultraschall teilweise durch den Riss gehemmt wird, und teilweise durch am Riss reflektierten Ultraschall erzeugt wird. Im Fall, dass der Riss zwischen der den Ultraschall emittierenden und der den Ultraschall detektierenden Transmittereinheit 4 lokalisiert ist, verringert sich das detektierte Signal des Ultraschallechos. Im Falle eines gemeinsamen Annäherns von emittierender und detektierender Transmittereinheit 4 an den Riss erhöht

15 sich ein detektiertes Ultraschallecho-Signal im Vergleich zu einem Ultraschallecho-Signal, welches an einer intakten Rohrleitungswand-Oberfläche erzeugt wird. Die Transmittereinheiten 4, 4A, 4B können einen rauscharmen Verstärker mit hoher Verstärkung aufweisen (nicht dargestellt). Dieser kann in beiden Modi PE, PC eingesetzt werden.

20

Die Transmittereinheiten 4, 4A, 4B der vorbeschriebenen und nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen sind piezoelektrische Breitbandtransmitter. Die Baueinheiten 10 des Sensorsystems 1 können, alternativ zu einer Ausgestaltung mit jeweils einer Transmittereinheit 4A, 4B je Baueinheit 10, jeweils gemäß einem der

25 Ausführungsbeispiele der Figuren 2a bis 2c ausgestaltet sein. Die Figuren 2a bis 2c zeigen jeweils eine schematische Draufsicht auf eine Ultraschalleintritts-/Austrittsfläche einer Baueinheit 10 eines Sensorsystems 1 gemäß einer dritten bis fünften Ausführungsform. In diesen Ausführungsbeispielen sind Ultraschall emittierende und Ultraschall detektierende Transmittereinheiten 4a, 4b in der Baueinheit 10 integriert. Die

30 Transmittereinheiten 4a, 4b können je nach Betriebsmodus im PE-Modus oder PC-Modus als erste oder als zweite Transmittereinheit 4 operieren.

Gemäß der Ausführungsform nach Figur 2a weist die Baueinheit 10 eine emittierende Transmittereinheit 4b und eine detektierende Transmittereinheit 4a auf.

5 Gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 2b weist die Baueinheit 10 mehrere Ultraschall emittierende Transmittereinheiten 4b und eine mittig zu den Ultraschall emittierenden Transmittereinheiten 4b angeordnete, Ultraschallechos detektierende Transmittereinheit 4a auf.

10 Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Figur 2c weist eine Baueinheit 10 eine detektierende Transmittereinheit 4a auf und eine, die detektierende Transmittereinheit 4a ringförmig umschließende, emittierende Transmittereinheit 4b auf. In anderen Worten ist die zweite Transmittereinheit 4b durch einen an ihrer Ultraschallaustrittsfläche eingliedrigen Ring gebildet und innerhalb des Rings eine Ultraschalleintrittsfläche der ersten Transmittereinheit 4a angeordnet.

15 Alternativ oder zusätzlich sind Baueinheiten 10 nach dem Ausführungsbeispiel der Figur 2a oder 2c in einer Formation wie in Figur 2b dargestellt ist, zueinander (kreisförmig) angeordnet. Die Anzahl der in der Mitte angeordneten detektierenden Transmittereinheiten 4a und/oder der in dem Kreis angeordneten emittierenden Transmittereinheiten 4b ist nach Bedarf eines zu erreichenden Signal-Rausch-
20 Verhältnisses, den Eigenschaften der Rohrleitung und einer Größe des Sensorsystems 1 anpassbar. Die emittierenden Transmittereinheiten 4b können auch in mehreren Kreisen unterschiedlicher Durchmesser um die detektierende(n) Transmittereinheit(en) 4a angeordnet sein. Alternativ zu den vorgenannten Ausführungsbeispielen sind die
25 detektierenden Transmittereinheiten 4a in Kreisen um eine oder mehrere Ultraschall emittierende Transmittereinheit(en) 4b angeordnet. Dies kann sowohl in einer Baueinheit 10 als auch in mehreren Baueinheiten 10 nach den vorbeschriebenen Prinzipien realisiert sein.

30 Gemäß einem Ausführungsbeispiel emittieren bzw. detektieren die Transmittereinheiten 4, 4a, 4A, 4B, 4b Ultraschall im hochfrequenten Bereich. Gemäß einem alternativen Ausführungsbeispiel emittieren bzw. detektieren die Transmittereinheiten 4, 4a, 4A, 4B, 4b Ultraschall im niederfrequenten Bereich. Alternativ umfasst das Sensorsystem 1

Baueinheiten 10, welche Ultraschall im hochfrequenten Bereich emittieren bzw. detektieren und Baueinheiten 10, welche Ultraschall im niederfrequenten Bereich emittieren bzw. detektieren.

- 5 Ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Erkennen einer Fehlstelle 2 und zum Charakterisieren einer Wanddicke WT der Rohrleitungswand 3 ist in Fig. 3 dargestellt. Das Verfahren weist folgende Schritte auf: Gemäß einem Schritt „S100“ erfolgt das Operieren zumindest einer Transmittereinheit 4, 4a, 4A, 4b, 4B, um Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand 3 zu emittieren und ein von der Rohrleitungswand 3
10 reflektiertes Ultraschallecho zu detektieren. Gemäß einem Schritt „S200“ erfolgt ein Operieren einer mit der zumindest einen Transmittereinheit 4, 4a, 4A, 4b, 4B signaltechnisch verbundenen Steuereinheit 5, um eine Fehlstelle 2 der Rohrleitungswand 3 anhand einer auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen.

15

- Das Operieren (S100) der Transmittereinheit 4, 4a, 4A, 4b, 4B kann sowohl den PE-Modus als auch den PC-Modus umfassen. Der PE-Modus ist zum Detektieren von Korrosion unter Verwendung von einer Baueinheit 10 vorteilhaft, siehe Fig. 1a, oder wenn nur eine Baueinheit 10 bei dem Sensorsystem 1 des Ausführungsbeispiels der
20 Fig. 1b benutzt wird. Im PE-Modus können ebenfalls eine der Transmittereinheiten 4a, 4b der Ausführungsbeispiele der Figuren 2a bis 2c bzw. die in diesem Zusammenhang beschriebenen Baueinheitskombinationen betrieben werden.

- Der PC-Modus tritt im Zusammenhang des Operierens zumindest zweier
25 Transmittereinheiten 4a, 4A, 4b, 4B auf. Diese können beispielsweise in separaten Baueinheiten 10 (siehe Fig. 1b) oder in einer Baueinheit 10 (siehe Figuren 2a und 2c und die Ausführungen in diesem Zusammenhang) im PC-Modus operiert werden. Beispielhaft kann folgendes Verfahren mit folgenden Schritten verwendet werden:

- 30 Schritt „S100“ umfasst ein Operieren zumindest einer ersten Transmittereinheit 4, 4a, 4A, 4b, 4B entsprechend dem PE-Modus und entsprechend dem PC-Modus, um Ultraschall in Richtung einer Rohrleitungswand 3 zu emittieren und ein von der Rohrleitungswand 3 reflektiertes Ultraschallecho zu detektieren. Weiterhin ist

vorgesehen ein Operieren zumindest einer zweiten Transmittereinheit 4, 4a, 4A, 4b, 4B im PC-Modus, um das von der Rohrleitungswand 3 reflektierte Ultraschallecho zu detektieren.

- 5 Schritt „S200“ umfasst ein Operieren einer mit den Transmittereinheiten 4, 4a, 4A, 4b, 4B signaltechnisch verbundenen Steuereinheit 5, um eine Fehlstelle 2 der Rohrleitungswand 3 anhand einer auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen.
- 10 Die Steuereinheit 5 verwertet bei der Bestimmung von Wanddicke WT und Eigenschaften von Fehlstellen 2 der Rohrleitungswand 3 den zeitlichen Verlauf eines Frequenzsignals, welches durch die Transmittereinheiten 4, 4a, 4A, 4b, 4B an die Steuereinheit 5 ausgegeben wird. Das Frequenzsignal wird entweder direkt oder nach
- 15 mehrmaligem Anwenden einer Fouriertransformation (entweder in einer Frequenzebene oder in einer Zeitebene) ausgewertet.

Beim Operieren der Steuereinheit 5 (S200) zum Erkennen von Fehlstellen 2 können verschiedene Verfahren eingesetzt werden:

- 20 Die Steuereinheit 5 kann ein Verfahren zur Bestimmung von Korrosion anwenden (gekennzeichnet durch „K“). Zu diesem Zweck ist die Steuereinheit 5 konfiguriert, zur Bestimmung der Korrosion die Änderung des Ultraschallechos entsprechend einer von der Korrosion erzeugten Änderung einer Ultraschallecho-Divergenz auszuwerten.
- 25 Alternativ oder zusätzlich ist die Steuereinheit 5 konfiguriert ein Verfahren zur Bestimmung der Wanddicke WT (gekennzeichnet durch „WT1“ in dem Flussdiagramm) durchzuführen. Das Verfahren WT1 führt die Steuereinheit 5 durch, um Daten gewonnen aus Messungen mit einer/mehreren Transmittereinheiten 4, 4a, 4A, 4b, 4B auszuwerten, welche hochfrequenten Ultraschall emittieren. Die Steuereinheit 5 bestimmt die
- 30 Wanddicke WT (siehe Figuren 1a und 1b) der Rohrleitungswand 3 anhand einer Differenz zwischen einem Innenwandecho-Zeitpunkt (T_FWE) und einem Außenwandecho-Zeitpunkt (T_BWE). Die Innenwand FW (siehe Figuren 1a und 1b) ist eine der Transmittereinheit 4, 4a, 4A, 4b, 4B zugewandte Oberfläche der

Rohrleitungswand 3. Die Außenwand BW (siehe Figuren 1a und 1b) ist eine der Transmittereinheit 4, 4a, 4A, 4b, 4B abgewandte Oberfläche der Rohrleitungswand 3, welche außerhalb der Rohrleitung liegt. Es kann bei der Bestimmung der Wanddicke WT ein erstes detektiertes Innenwandecho verwendet werden. Die Wanddicke WT kann
 5 alternativ oder zusätzlich mit einem zweiten oder weiteren detektierten Innenwandecho bestimmt werden. Die Wanddicke WT lässt sich dann aus folgender Formel herleiten:

$$WT = \frac{C_{L2}(T_{BWE} - T_{FWE})}{2}$$

10 Hierbei ist C_{L2} die Schallgeschwindigkeit in der Rohrwand.

Alternativ oder zusätzlich ist die Steuereinheit 5 konfiguriert ein Verfahren zur Bestimmung der Wanddicke WT (gekennzeichnet durch „WT2“ in dem Flussdiagramm) durchzuführen. Das Verfahren WT2 führt die Steuereinheit 5 durch, um Daten gewonnen
 15 aus Messungen mit einer/mehreren Transmittereinheiten 4, 4a, 4A, 4b, 4B auszuwerten, welche niederfrequenten Ultraschall emittieren. Hierbei ist die Steuereinheit 5 konfiguriert, eine Wanddicke WT der Rohrleitungswand 3 anhand von Resonanzfrequenzen $f_1, f_2, \dots, f_i$ des Außenwandechos zu bestimmen. Hierbei bestimmt die Steuereinheit 5 Resonanzfrequenzen $f_1, f_2, \dots, f_i$ des Außenwandechos in einer
 20 Frequenzebene. Die Wanddicke WT ergibt sich dann aus

$$WT = \frac{C_{L2}}{2(f_2 - f_1)}$$

Hierbei ist C_{L2} die Schallgeschwindigkeit in der Rohrwand. Die Resonanzfrequenz f_2
 25 des Außenwandechos ist die zeitlich auf die Resonanzfrequenz f_1 des Außenwandechos folgende Resonanzfrequenz. Alternativ oder zusätzlich zu den Frequenzen f_1 und f_2 können andere, aus der Fouriertransformation gewonnene Resonanzfrequenzen f_i verwendet werden, um die Wanddicke WT zu bestimmen.

30 Nachfolgend beschriebenes Verfahren der Steuereinheit 5 ist in dem Flussdiagramm mit „WT3“ bezeichnet. Demnach kann ein Signal-Rausch-Verhältnis verbessert werden, indem eine Fouriertransformation zweiten Grades von dem detektierten Signal

durchgeführt wird. Eine solche Fouriertransformation kann sowohl für Signale von hochfrequent als auch von niederfrequent betriebenen Transmittereinheiten 4, 4a, 4b, 4A, 4B durchgeführt werden. Hierbei wird eine Wanddicke WT bestimmt anhand einer Periodendauer T1, T2, ..., Ti des Außenwandecho-Zeitpunkts T_{BWE} eines mittels
 5 schnellen Fouriertransformation (FFT) zweiten Grades transformierten Ultraschallsignals. Hierbei wird bevorzugt eine maximal große Amplitude des Signals des Außenwandechos für die Wanddickenbestimmung benutzt. Die Wanddicke WT ergibt sich dann beispielsweise unter Berücksichtigung einer Periodendauer T1 der maximal großen Amplitude des Außenwandecho-Signals:

10

$$WT = \frac{C_{L2}T1}{2}$$

Alternativ oder zusätzlich ist die Steuereinheit 5 konfiguriert ein Verfahren zur Bestimmung von Risseigenschaften (gekennzeichnet durch zu engl. „crack detection“
 15 (deutsch: Risserkennung), abgekürzt mit „CD“ in dem Flussdiagramm) durchzuführen. Das Verfahren CD führt die Steuereinheit 5 durch, um Daten gewonnen aus Messungen mit einer/mehreren Transmittereinheiten 4, 4a, 4A, 4b, 4B auszuwerten, welche niederfrequenten oder hochfrequenten Ultraschall emittieren. Hierbei ist die Steuereinheit 5 konfiguriert, eine Rissdetektion und eine Riss-Größenbestimmung
 20 anhand von Amplituden von den Resonanzfrequenzen f1, f2, ... fi und (einer) Amplitude(n) eines Außenwandechos durchzuführen. Insbesondere ist die Steuereinheit 5 konfiguriert, eine Rissdetektion und eine Riss-Größenbestimmung anhand von Amplituden von Resonanzfrequenzen f1, f2, ... fi in einer Frequenzebene und (einer) Amplitude(n) eines Außenwandechos eines mittels FFT zweiten Grades transformierten
 25 Ultraschallsignals durchzuführen. Bei dem vorbeschriebenen Verfahren der Untersuchung von Risseigenschaften ist eine Abschwächung des Ultraschallechos proportional zu einer Tiefe der Fehlstelle 2.

Die vorgenannten Ausführungsbeispiele eignen sich für die Wanddickenbestimmung von
 30 Rohrleitungen mit Dicken von 6 mm bis 30 mm. Andere Wanddicken WT sind ebenfalls denkbar.

Bezugszeichenliste

	1	Sensorsystem
	2	Fehlstelle
5	3	Rohrleitungswand
	4, 4a, 4b, 4A, 4B	Transmittereinheit
	5	Steuereinheit
10	10	Baueinheit
	BW	Außenwand der Rohrleitung
	CD	Verfahren zur Charakterisierung von Rissen
	FW	Innenwand der Rohrleitung
15	PC	PC-Modus
	PE	PE-Modus
	WT	Wanddicke
	WT1	erstes Verfahren zur Waddickenbestimmung
	WT2	zweites Verfahren zur Waddickenbestimmung
20	WT3	drittes Verfahren zur Waddickenbestimmung
	S100	Operieren zumindest einer Transmittereinheit
	S200	Operieren zumindest einer Steuereinheit

Patentansprüche

1. Akustisches Sensorsystem (1) zum Bestimmen von einer Fehlstelle (2) einer Rohrleitungswand (3), aufweisend:
- 5 zumindest eine Transmittereinheit (4), die konfiguriert ist, Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand (3) zu emittieren und ein von der Rohrleitungswand (3) reflektiertes Ultraschallecho zu detektieren; und
- eine mit der zumindest einen Transmittereinheit (4) signaltechnisch verbundene Steuereinheit (5), die konfiguriert ist, die Fehlstelle (2) der Rohrleitungswand (3) anhand
- 10 einer auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen.
2. Akustisches Sensorsystem (1) nach Anspruch 1, wobei die Steuereinheit (5) konfiguriert ist:
- zumindest eine erste Transmittereinheit (4) des Sensorsystems (1) anzusteuern,
- 15 zum Emittieren von Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand (3) und zum Detektieren eines von der Rohrleitungswand (3) reflektierten Ultraschallechos;
- temporär zumindest eine zweite Transmittereinheit (4) des Sensorsystems (1) anzusteuern, zum Detektieren des von der Rohrleitungswand (3) reflektierten Ultraschallechos; und
- 20 die Fehlstelle (2) der Rohrleitungswand (3) anhand einer auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen.
3. Akustisches Sensorsystem (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei zumindest eine Transmittereinheit (4) zum Aussenden und Detektieren von niederfrequentem Ultraschall
- 25 ausgebildet ist, wobei ein Betrag einer Wellenlänge des niederfrequenten Ultraschalls größer/gleich ist als ein Betrag einer Wanddicke (WT) der Rohrleitungswand (3), wobei insbesondere der Betrag der Wellenlänge des niederfrequenten Ultraschalls sich zu dem Betrag der Wanddicke (WT) der Rohrleitungswand (3) gemäß $2 \cdot WT/n$ verhält, wobei n eine natürliche Zahl ist.
- 30
4. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, wobei zumindest eine Transmittereinheit (4) zum Aussenden und Detektieren von hochfrequentem Ultraschall ausgebildet ist.

5. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (5) konfiguriert ist, zur Bestimmung von Korrosion die Änderung des Ultraschallechos entsprechend einer von der Korrosion erzeugten Änderung einer Ultraschallecho-Divergenz auszuwerten.

5

6. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (5) konfiguriert ist, eine Wanddicke (WT) der Rohrleitungswand (3) anhand einer Differenz zwischen einem Innenwandecho-Zeitpunkt (T_{FWE}) und einem Außenwandecho-Zeitpunkt (T_{BWE}) zu bestimmen.

10

7. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (5) konfiguriert ist, eine Wanddicke (WT) der Rohrleitungswand (3) anhand von zumindest zwei Resonanzfrequenzen ($f_1, f_2, \dots f_i$) des Außenwandechos oder anhand von zumindest einer Resonanzfrequenz ($f_1, f_2, \dots f_i$) des Außenwandechos und einer Dauer der zumindest einen Resonanzfrequenz ($f_1, f_2, \dots f_i$) des Außenwandechos zu bestimmen.

15

8. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (5) konfiguriert ist, eine Wanddicke (WT) der Rohrleitungswand (3) anhand von zumindest einem Außenwandecho-Zeitpunkt (T_{BWE}) und zumindest einer Periodendauer ($T_1, T_2, \dots T_i$) eines Außenwandechos zu diesem zumindest einen Außenwandecho-Zeitpunkt (T_{BWE}) zu bestimmen.

20

9. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, wobei die Steuereinheit (5) konfiguriert ist, eine Rissdetektion und eine Riss-Größenbestimmung anhand von zumindest einer Amplitude von zumindest einer Resonanzfrequenz ($f_1, f_2, \dots f_i$) und/oder zumindest einer Amplitude eines Außenwandechos durchzuführen.

25

10. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, wobei eine Abschwächung des Ultraschallechos proportional zu einer Tiefe der Fehlstelle (2) ist.

30

11. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, aufweisend
eine einzige Transmittereinheit (4), die konfiguriert ist, reflektierten Ultraschall zu detektieren, und
5 mehrere, um die einzige Transmittereinheit (4) angeordnete, Transmittereinheiten (4), die jeweils konfiguriert sind, Ultraschall zu senden.
12. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, aufweisend genau zwei Transmittereinheiten (4), von denen
10 die erste Transmittereinheit (4) konfiguriert ist, reflektierten Ultraschall zu detektieren, und
die zweite Transmittereinheit (4) konfiguriert ist, Ultraschall zu senden.
13. Akustisches Sensorsystem (1) nach dem vorgehenden Anspruch, wobei die zweite
15 Transmittereinheit (4) durch einen an ihrer Ultraschallaustrittsfläche einstückigen Ring gebildet ist und, vorzugsweise konzentrisch, innerhalb des Rings eine Ultraschalleintrittsfläche der ersten Transmittereinheit (4) angeordnet ist.
14. Akustisches Sensorsystem (1) nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche, aufweisend eine Vielzahl von Transmittereinheiten (4), wobei Ultraschallaustritts- und -
20 eintrittsflächen der Transmittereinheiten (4) kreisförmig angeordnet sind.
15. Inline-Inspektionsgerät, ILI, zur Untersuchung einer Rohrleitungswand (3), aufweisend ein oder mehrere akustisches Sensorsystem (1)/akustische Sensorsysteme (1)
25 nach mindestens einem der vorgehenden Ansprüche.
16. Verfahren zum Bestimmen von einer Fehlstelle (2) einer Rohrleitungswand (3), aufweisend folgende Schritte:
Operieren (S100) zumindest einer Transmittereinheit (4), um Ultraschall in
30 Richtung der Rohrleitungswand (3) zu emittieren und ein von der Rohrleitungswand (3) reflektiertes Ultraschallecho zu detektieren; und Operieren (S200) einer mit der zumindest einen Transmittereinheit (4) signaltechnisch verbundenen Steuereinheit (5),

um die Fehlstelle (2) der Rohrleitungswand (3) anhand einer auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen;

oder aufweisend Schritte entsprechend Merkmalen des akustischen Sensorsystems (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 14.

5

17. Computerprogramm, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Computerprogramms durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren nach dem vorgenannten Anspruch auszuführen.

10 18. Datenträgersignal, das das Computerprogramm nach dem vorgenannten Anspruch überträgt.

19. Computerlesbares Medium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, ein Verfahren nach Anspruch 16 auszuführen.

15

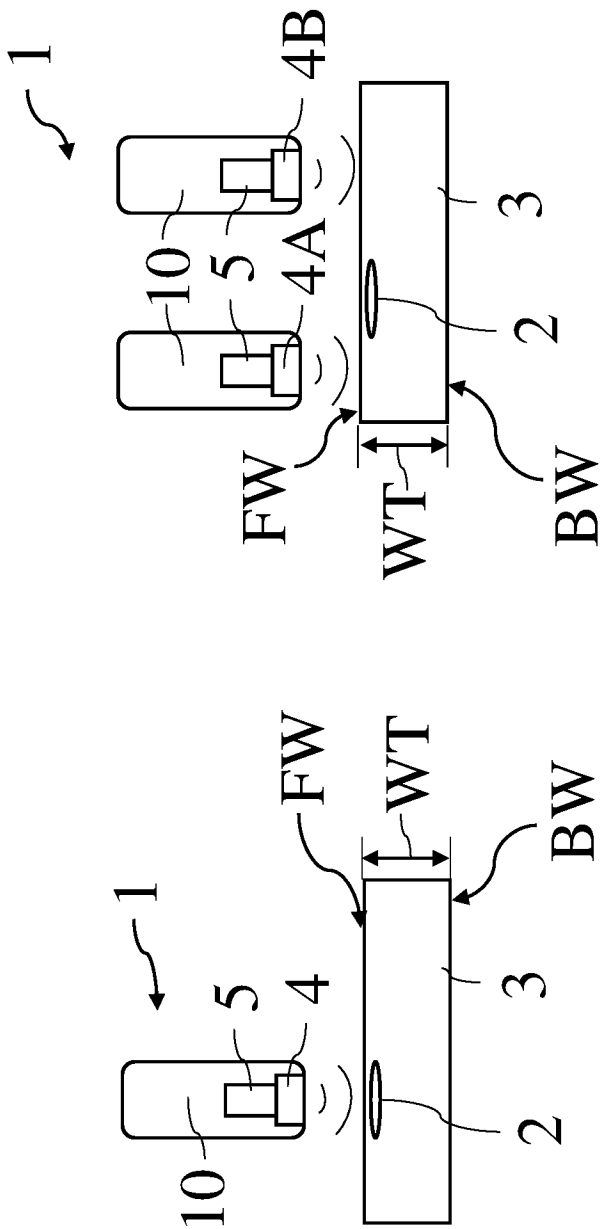


Fig. 1b

Fig. 1a

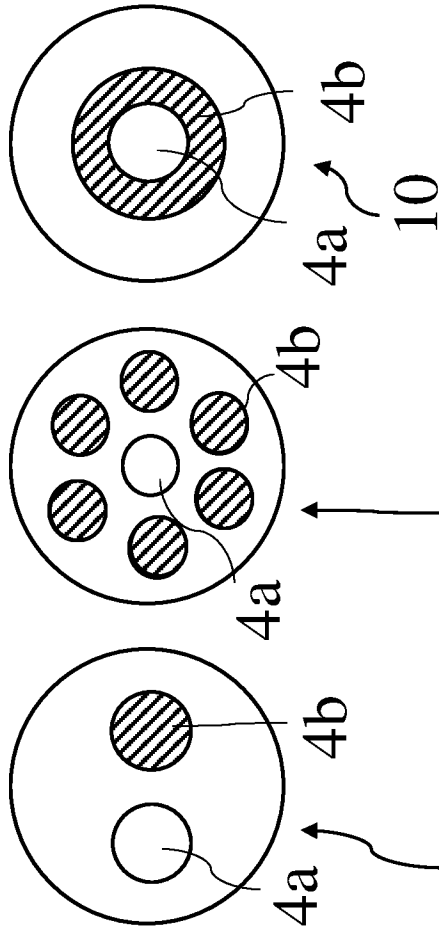


Fig. 2a

Fig. 2b

Fig. 2c

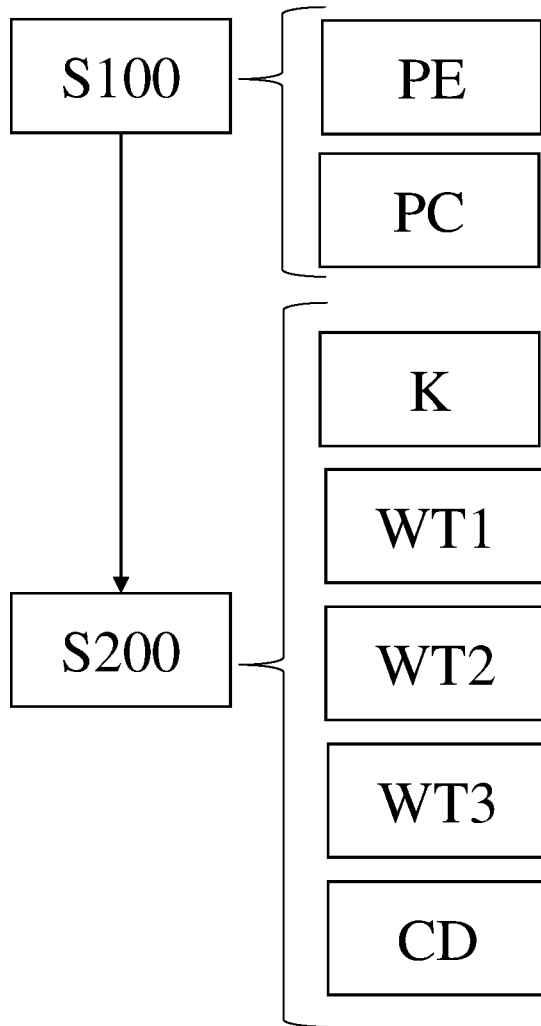


Fig. 3

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

B0 11996
BE 202005003

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 857 834 A2 (YOKOGAWA ELECTRIC CORP [JP]) 8. April 2015 (2015-04-08) * Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 * * Absätze [0035] - [0066] * -----	1-5,7, 9-13, 15-19	INV. G01N29/04 G01N29/07 G01N29/11 G01N29/12 G01N29/46
X	EP 1 333 277 A2 (PII PIPETRONIX GMBH [DE]) 6. August 2003 (2003-08-06) * Zusammenfassung; Abbildungen 3a-4b * * Absätze [0011], [0041] - [0043] * -----	1,14, 16-19	
X	WO 92/10746 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH) 25. Juni 1992 (1992-06-25) * Seite 1, Zeile 4 - Seite 12, Zeile 24 * -----	1,6,8, 16-19	
X	DE 41 41 123 C1 (FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH) 18. März 1993 (1993-03-18) * Zusammenfassung; Abbildung 1 * * Seite 3, Zeile 24 - Seite 4, Zeile 31 * -----	1,6,8, 16-19	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			G01N
3		Abschlußdatum der Recherche 11. September 2020	
		Prüfer Uttenthaler, Erich	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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			

**ANHANG ZUM RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE BELGISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

B0 11996
BE 202005003

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.

11-09-2020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 2857834	A2	08-04-2015	CN	104458906 A		25-03-2015
			EP	2857834 A2		08-04-2015
			JP	5884993 B2		15-03-2016
			JP	2015055559 A		23-03-2015
			US	2015068311 A1		12-03-2015

EP 1333277	A2	06-08-2003	AT	480770 T		15-09-2010
			CA	2379108 A1		22-07-2003
			DE	10202432 A1		07-08-2003
			DE	10262232 B4		03-07-2008
			EP	1333277 A2		06-08-2003
			US	2003136195 A1		24-07-2003

WO 9210746	A1	25-06-1992	AT	113382 T		15-11-1994
			CA	2098480 A1		16-06-1992
			DE	4040190 A1		17-06-1992
			DK	0561867 T3		28-11-1994
			EP	0561867 A1		29-09-1993
			ES	2062882 T3		16-12-1994
			NO	313063 B1		05-08-2002
			US	5497661 A		12-03-1996
			WO	9210746 A1		25-06-1992

DE 4141123	C1	18-03-1993	CA	2125565 A1		24-06-1993
			DE	4141123 C1		18-03-1993
			EP	0616692 A1		28-09-1994
			JP	2695702 B2		14-01-1998
			JP	H07502340 A		09-03-1995
			US	5635645 A		03-06-1997
			WO	9312420 A1		24-06-1993



SCHRIFTLICHER BESCHEID

Dossier Nr. BO11996	Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 06.01.2020	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)	Anmeldung Nr. BE202005003
Internationale Patentklassifikation (IPK) INV. G01N29/04 G01N29/07 G01N29/11 G01N29/12 G01N29/46			
Anmelder ROSEN Swiss 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

Anmeldung Nr.
BE202005003

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 der Bescheid auf folgender Grundlage erstellt worden:
 - a. Art des Materials:
 - ☐ Sequenzprotokoll
 - ☐ Tabelle(n) zum Sequenzprotokoll
 - b. Form des Materials:
 - ☐ in Papierform
 - ☐ in elektronischer Form
 - c. Zeitpunkt der Einreichung:
 - ☐ in der eingereichten Anmeldung enthalten
 - ☐ zusammen mit der Anmeldung in elektronischer Form eingereicht
 - ☐ nachträglich eingereicht
3. ☐ Wurden mehr als eine Version oder Kopie eines Sequenzprotokolls und/oder einer dazugehörigen Tabelle eingereicht, so sind zusätzlich die erforderlichen Erklärungen, dass die Information in den nachgereichten oder zusätzlichen Kopien mit der Information in der Anmeldung in der eingereichten Fassung übereinstimmt bzw. nicht über sie hinausgeht, vorgelegt worden.
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 11-13 Nein: Ansprüche 1-10, 14-19
Erfinderische Tätigkeit	Ja: Ansprüche Nein: Ansprüche 1-19
Gewerbliche Anwendbarkeit	Ja: Ansprüche: 1-19 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

Feld Nr. VIII Bestimmte Bemerkungen zur Anmeldung

siehe Beiblatt

Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

- | | |
|----|---|
| D1 | EP 2 857 834 A2 (YOKOGAWA ELECTRIC CORP [JP]) 8. April 2015 (2015-04-08) |
| D2 | EP 1 333 277 A2 (PII PIPETRONIX GMBH [DE]) 6. August 2003 (2003-08-06) |
| D3 | WO 92/10746 A1 (KERNFORSCHUNGSZ KARLSRUHE [DE]; PIPETRONIX GMBH [DE])
25. Juni 1992 (1992-06-25) |
| D4 | DE 41 41 123 C1 18. März 1993 (1993-03-18) |

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 Sensorsystem zum Bestimmen von einer Fehlstelle einer Rohrleitungswand (Zusammenfassung, D1), aufweisend:

zumindest eine Transmittereinheit, die konfiguriert ist, Ultraschall in Richtung der Rohrleitungswand zu emittieren und ein von der Rohrleitungswand reflektiertes Ultraschallecho zu detektieren (US1, US2, US3...USn, Fig. 1, D1); und

eine mit der zumindest einen Transmittereinheit signaltechnisch verbundene Steuereinheit, die konfiguriert ist, die Fehlstelle der Rohrleitungswand anhand einer auftretenden Änderung des Ultraschallechos zu bestimmen (siehe Fig. 2 und Absatz 0035-0038, D1).

Aus diesem Grund ist Anspruch 1 nicht neu.

Einwände gegen die Neuheit von Anspruch 1 können auch auf der Basis von D2 (Zusammenfassung, Figuren 3a-4b und Absätze 0011, 0041-0043), D3 (Seite 1, Zeilen 4 - 30) oder D4 (Zusammenfassung, Figur 1 und Seite 3, Zeilen 24- 41) erhoben werden.

1.2 Anspruch 16:

Obiger Einwand gegen die Neuheit von Anspruch 1 gilt ebenfalls, mutatis mutandis, für den entsprechenden Verfahrensanspruch 16.

Aus diesem Grund ist Anspruch 16, soweit er verstanden werden kann (siehe die Klarheitseinwände in VIII.) ebenfalls nicht neu.

1.3 Ansprüche 17-19:

Obiger Einwand gegen die Neuheit von Anspruch 16 gilt ebenfalls, mutatis mutandis, für die auf ein Computerprogramm, ein Datenträgersignal bzw. ein computerlesbares Medium bezogenen Ansprüche 13-15.

Aus diesem Grund sind die Ansprüche 17-19 ebenfalls nicht neu.

1.4 Abhängige Ansprüche:

Die abhängigen Ansprüche 2-15 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 entweder aus D1 - D4 bekannt sind oder naheliegend sind:

Anspruch 2 nicht neu: siehe Absatz 0038, D1.

Ansprüche 3, 7 nicht neu, soweit sie verstanden werden können (siehe die Klarheitseinwände in VIII): siehe Absatz 0058, D1.

Anspruch 4 nicht neu, soweit er verstanden werden kann (siehe die Klarheitseinwände in VIII): siehe Absatz 034, D1.

Anspruch 5 nicht neu, soweit er verstanden werden kann (siehe die Klarheitseinwände in VIII): siehe Absatz 066, D1.

Ansprüche 6, 8 nicht neu, soweit sie verstanden werden können (siehe die Klarheitseinwände in VIII): siehe Seite 12, Zeilen 13-24, D3 oder Seite 4, Zeilen 24-31, D4.

Ansprüche 9, 10 nicht neu: siehe Absatz 0042, D1.

Ansprüche 11-13 nicht erfinderisch: konventionelle Merkmale.

Anspruch 14 nicht neu: siehe Fig. 4a, 4b, D2.

Anspruch 15 nicht neu aus den gleichen Gründen wie für Anspruch 1;

Zu Punkt VII

Bestimmte Mängel in der Anmeldung

- 1 Der unabhängige Vorrichtungsanspruch ist nicht in der zweiteiligen Form abgefasst. Im vorliegenden Fall erscheint die Zweiteilung jedoch zweckmäßig. Folglich sollten die in Verbindung miteinander aus dem Stand der Technik bekannten Merkmale im Oberbegriff zusammengefasst und die übrigen Merkmale im kennzeichnenden Teil aufgeführt werden.
- 2 In der Beschreibung werden weder der in D1 bis D4 offenbarte einschlägige Stand der Technik noch die Dokumente selbst angegeben.

Zu Punkt VIII

Bestimmte Bemerkungen zur Anmeldung

Klarheit:

Die Ansprüche 3-5, 7, 8, 10, 15 und 16 sind aus folgenden Gründen nicht klar:

- 1 Die Begriffe "niederfrequent" und "hochfrequent" in den Ansprüchen 3 bzw. 4 sind relativ und somit unklar, weil der entsprechende Frequenzbereich nicht angegeben ist.
- 2 Anspruch 3 ist unklar, weil das Merkmal "Betrag einer Wellenlänge des niederfrequenten Ultraschalls größer/gleich ist als ein Betrag einer Wanddicke (WT) der Rohrleitungswand" für $n \geq 3$ im Widerspruch zum optionalen Merkmal "Betrag der Wellenlänge des niederfrequenten Ultraschalls verhält sich zu dem Betrag der Wanddicke (WT) der Rohrleitungswand gemäß $2 \cdot WT/n$ " steht.
- 3 Anspruch 5 ist unklar, weil die Ultraschallecho-Divergenz nicht definiert ist.
- 4 Anspruch 7 ist unklar, weil die Dauer einer Resonanzfrequenz allgemein nicht eindeutig definiert ist und keine spezifische Definition dafür angegeben ist.
- 5 Anspruch 8 ist unklar, weil die Periodendauer des Außenwandechos nicht definiert ist (siehe bspw. Seite 9, Zeile 14ff der Beschreibung).
- 6 Das Merkmal "wobei eine Abschwächung des Ultraschallechos proportional zu einer Tiefe der Fehlstelle ist" im Vorrichtungsanspruch 10 bezieht sich auf ein Verfahren zur Verwendung der Vorrichtung und nicht auf die Definition der Vorrichtung anhand ihrer technischen Merkmale. Die beabsichtigten Beschränkungen gehen daher nicht klar aus dem Anspruch hervor.
- 7 Das Inline-Inspektionsgerät, ILI, gemäß Anspruch 15 weist ein oder mehrere akustische Sensorsysteme nach einem der vorgenannten Ansprüche auf, weist aber ansonsten keine weiteren Vorrichtungsmerkmale auf, die speziell dazu eingerichtet wären die Untersuchung einer Rohrleitungswand zu gewährleisten. Aus diesem Grund ist Anspruch 15 unklar.

- 8 Die Alternative "oder aufweisend Verfahrensschritte entsprechend Merkmalen des akustischen Sensorsystems..." in Anspruch 16 ist unklar, da das akustische Sensorsystem gemäß seiner Definition lediglich Vorrichtungsmerkmale aufweist.