

(12) BELGISCHER PATENTANTRAG

(41) Veröffentlichungsdatum : 09/10/2024

(21) Antragsnummer : BE2023/5189

(22) Anmeldetag : 15/03/2023

(62) Teilantrag des früheren Antrags :

(62) Anmeldetag des früheren Antrags :

(51) Internationale Klassifikation : G01N 27/82

(30) Prioritätsangaben :

(71) Anmelder :

ROSENXT HOLDING AG
AG
6370, STANS
Schweiz

(72) Erfinder :

DANILOV Andrey
49809 LINGEN
Deutschland

ROSEN Patrik
49716 MEPPEN
Deutschland

PLASCENCIA Sergio
93405 SAN LUIS OBISPO
Vereinigte Staaten

**(54) Verfahren zur Inspektion eines metallischen Betonspannelementes einer Rohrleitung
sowie Inspektionsvorrichtung**

(57)Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Inspektion eines metallischen Betonspannelementes einer insbesondere wasserführenden Rohrleitung, wobei mit wenigstens einer vorzugsweise eine erste Erregerspule umfassenden ersten Erregereinheit einer Inspektionsvorrichtung ein erstes magnetisches Wechselfeld und mit wenigstens einer von der ersten Erregereinheit beabstandeten, vorzugsweise eine zweite Erregerspule umfassenden zweiten Erregereinheit der Inspektionsvorrichtung ein zweites magnetisches Wechselfeld erzeugt wird, wobei das erste und zweite Magnetfeld entgegengesetzte Richtungen aufweisen, und wobei während einer Bewegung der Inspektionsvorrichtung entlang des Betonspannelementes an wenigstens einer Position zwischen der ersten und der zweiten Erregereinheit mittels wenigstens eines vorzugsweise eine Sensorspule aufweisenden Magnetfeldsensors der Inspektionsvorrichtung auf Basis des resultierenden Magnetfelds Messdaten aufgenommen werden, die hinsichtlich der Größe und/oder Phase des resultierenden Magnetfelds ausgewertet werden. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Inspektionsvorrichtung zur Inspektion eines metallischen Betonspannelementes einer insbesondere wasserführenden Rohrleitung.

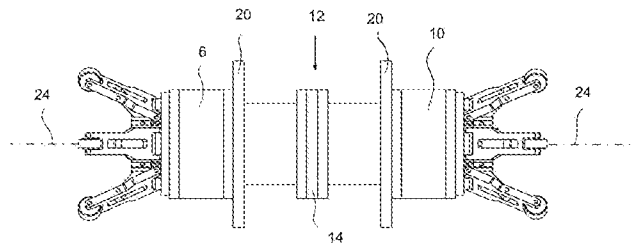


Fig. 2

Verfahren zur Inspektion eines metallischen Betonspannelementes einer Rohrleitung
sowie Inspektionsvorrichtung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Inspektion eines metallischen Betonspannelementes, beispielsweise eines Betonspanndrahts, der spiralförmig in einer wasserführenden Rohrleitung, demnach in deren Beton eingebettet ist. Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Inspektionsvorrichtung, mit der ein solches Ver-
10 fahren durchgeführt werden kann.

Oftmals werden für den Transport von Wasser Betonrohrleitungen verwendet, die eine zylinderförmige Metallschicht bzw. einen Metallzylinder besitzen, der innen- und außenseitig mit Beton beschichtet ist. Auf der Außenseite ist der Beton durch ein
15 oder mehrere Betonspannelemente verstärkt, die als Draht oder Drahtlitzen ausgebildet sind. Solche Betonspannelemente nehmen die im Beton wirkenden Zugspannungen auf und erhöhen die Festigkeit der Rohrleitung erheblich. Im Laufe der Zeit können die Betonspannelemente allerdings beispielsweise aufgrund von Korrosion brechen, was zu einem erhöhten Ausfallrisiko der Rohrleitung führt.

20

Aufgrund der komplexen und inhomogenen Struktur der Rohrleitungswand sind herkömmliche NDT-Methoden basierend auf Ultraschall- oder magnetischen Streufluss-Messungen nicht genau genug. Dies gilt insbesondere für innerhalb der Rohrleitung bewegte Inspektionsvorrichtungen. Von außerhalb der Rohrleitung sind die Betonspannelemente ebenfalls oftmals nicht mit einem vertretbaren Aufwand inspizierbar, da die Rohrleitungen im Untergrund eingegraben liegen.

In der US 6,127,823 wird mit sogenannten "Remote Field Eddy-Current"-Methoden versucht, Defekte, insbesondere Bruchstellen, der schnurförmigen, d.h. beispielsweise als Betonspanndraht ausgebildeten Betonspannelemente zu finden. Diese Messungen sind jedoch nur von geringer Genauigkeit. Darüber hinaus ist aufgrund des Abstandes der zwischen Erregereinheit und Sensor von zwei bis drei Rohrdurchmessern die Rohrleitungsgängigkeit der Vorrichtung sehr eingeschränkt.

Aus der EP 2 458 376 A2 ist es weiterhin bekannt, zwei wandnahe Sensoren zur Messung eines aufgrund eines Defekts variierenden resultierenden Magnetfelds zu verwenden. Auch diese Art der Messung ist sehr stör anfällig. Zusätzlich ist ein zugehöriges Inspektionsgerät aufgrund der wandnahen Anordnung der Sensoren in oftmals verwendeten Rohren mit sogenannten Butterfly-Ventilen nicht einsetzbar.

20

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Genauigkeit von Untersuchungen zur Integrität von Betonspannelementen zu erhöhen und eine entsprechende Vorrichtung hierfür zu schaffen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie durch eine Inspektionsvorrichtung gemäß Anspruch 16. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den auf diese Ansprüche rückbezogenen Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung zu entnehmen.

5

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Inspektion eines metallischen Betonspannelementes einer insbesondere wasserführenden Rohrleitung wird mit wenigstens einer vorzugsweise eine erste Erregerspule umfassenden ersten Erregereinheit einer Inspektionsvorrichtung ein erstes magnetisches Wechselfeld erzeugt. Weiterhin wird mit wenigstens einer von der ersten Erregereinheit beabstandeten, vorzugsweise eine zweite Erregerspule umfassenden zweiten Erregereinheit der Inspektionsvorrichtung ein zweites magnetisches Wechselfeld erzeugt, wobei das erste und zweite Magnetfeld entgegengesetzte Richtungen aufweisen. Weiterhin werden während einer Bewegung der Inspektionsvorrichtung entlang des Betonspannelementes insbesondere durch die Rohrleitung hindurch an wenigstens einer Position zwischen der ersten und der zweiten Erregereinheit mittels wenigstens eines Magnetfeldsensors der Inspektionsvorrichtung auf Basis des resultierenden Magnetfelds Messdaten aufgenommen, die hinsichtlich der Größe und/oder Phase des resultierenden Magnetfelds ausgewertet werden. Aus diesen Daten ergibt sich bei dem Verfahren der Inspektionsvorrichtung entlang des Betonspannelements bei einem Defekt desselben ein charakteristisches Signal, über das auf das Vorliegen des Defekts geschlossen wird. Die Erregereinheiten sind in Längsrichtung der Inspektionsvorrichtung voneinander beabstandet.

10

15

20

Betonspannelemente sind wie schnurförmig ausgebildete Betonspannelemente in Form von Draht oder Litzen aus mehreren Drähten. Die beiden entgegengerichteten Wechselfelder sind dergestalt entgegengesetzt, dass sie sich zumindest in Teilen aufheben. Das resultierende Magnetfeld ergibt sich aus der Überlagerung der direkten, von den Erregereinheiten unmittelbar wirkenden Wechselfelder im Bereich des Magnetfeldsensors sowie aufgrund der von metallischen Teilen der Rohrleitung induzierten Felder. Letztere entstehen insbesondere aufgrund von Wechselwirkungen im Metallzylinder, sofern dieser vorhanden ist, sowie im Betonspannelement.

Die Erfindung beruht zunächst auf der Erkenntnis, dass im Betonspannelement

Ströme in Umfangsrichtung erzeugt werden und somit wiederum ein magnetisches Wechselfeld erzeugt wird. Es ist zwar bei einem spiralförmig gewickelten Betonspannelement schwierig, signifikante Ströme in dem eigentlich nicht geschlossenen Leiter zu erzeugen, allerdings wurde im Rahmen der Erfindung festgestellt, dass die Leitfähigkeit zwischen spiralförmig gewickelten Betonspannelementen und ebenfalls vorhandenen, axial verlegten Betonspannelementen oder Metallzylindern hoch genug ist, um die Teile des spiralförmig gewickelten Drahtes elektrisch zu verbinden. Durch diese Verbindung wird die Induktion von Strom auch in spiralförmig gewickelten Betonspannelementen möglich. Bei nicht spiralförmig gewickelten, insbesondere runden und geschlossenen Betonspannelementen, die eine Ebene senkrecht zur Rohrleitungssachse aufspannen, ist die Induktion ohnehin groß genug.

Ein Defekt im Betonspannelement verursacht entsprechend eine Änderung im gemessenen Signal. Dieses ist an sich bekannt, wobei das von einem etwaig vorhan-

denen Metallzylinder erzeugte und das direkt gemessene Wechselfeld-Signal prinzipiell deutlich größer sind als das eigentlich interessierende Signal auf Basis des Betonspannelements. Entsprechend ist es mit den aus den Stand der Technik bekannten Setups bislang nicht möglich gewesen, das Signal auf Basis eines Bruches des

5 Betonspannelements gegenüber dem viel größeren Signal auf Basis des direkt vom Erzeuger in Richtung des Magnetfeldsensors wirkenden magnetischen Wechselfeldes sowie eines im etwaig vorhandenen Metallzylinder induzierten Feldes ausreichend genau zu messen. Die Erzeugung eines zweiten, entgegengesetzten Magnetfeldes soll zumindest im Wesentlichen zu einer Kompensation der einander entgegengesetzten Wechselfelder bzw. der auf Basis der erzeugten Wechselfelder induzierten Wechselfelder führen. Dies gilt für den Fall eines intakten Betonspanndrahts, welcher genauso wie der Metallzylinder oder ähnlich wirkende metallische Teile einer Betonrohrleitung zur Erzeugung von beispielsweise in Umfangsrichtung gerichteten Strömen verwendbar ist.

15

Wenn die untersuchte Rohrleitung intakt ist, heben sich die erzeugten Signale weitestgehend auf. Ist die Struktur allerdings aufgrund eines Bruches des Betonspannelements nicht mehr intakt, so hebt sich bei der Verwendung zweier entgegengesetzter, von den Erregereinheiten erzeugter Wechselfelder während des Überfahrens der Bruchstelle bzw. dem Entlangfahren an der Bruchstelle das Signal nicht mehr komplett auf und es entsteht ein charakteristisches Signal. Dieses hebt sich deutlich von den weiteren gemessenen Signalen ab und variiert in Abhängigkeit der

20 Position zu der Bruchstelle. Da gleichzeitig die deutlich stärkeren Signale weiterhin

im Wesentlichen kompensiert sind, weist ein solches Verfahren eine hohe Sensitivität für das gewünschte Signal auf.

Das Sensorsignal enthält gemäß der vorliegenden Betrachtung drei Komponenten.

Eine erste Komponente $S_d(t)$ ergibt sich aufgrund der direkt von den Erregereinheiten erzeugten magnetischen Wechselfelder. Eine weitere Komponente $S_e(t)$ ergibt sich aufgrund von Eddy Currents, die in dem zylinderförmigen Metall der Rohrleitung induziert werden. Darüber hinaus ergibt sich eine Komponente $S_s(t)$ aufgrund der in dem Betonspannelement induzierten Ströme:

$$S_{Sensor}(t) = S_d(t) + S_e(t) + S_s(t)$$

Die einzelnen Signalanteile ergeben sich aufgrund unterschiedlicher physikalischer Effekte. Die Amplituden und Phasenwerte in Bezug auf die Phase des von den Erregereinheiten erzeugten magnetischen Wechselfelds variieren für $S_d(t)$ und $S_e(t)$ in Abhängigkeit des Abstands des Sensors von der Erregereinheit und der Anregungsfrequenz des erzeugten Magnetfelds. Die Phase von $S_s(t)$ hingegen hängt insbesondere von der Dicke der metallischen Schicht und der Anregungsfrequenz ab, während die Amplitude von $S_s(t)$ ebenfalls mit der Anregungsfrequenz und dem Abstand zwischen Magnetfeldsensor und Erregereinheit variiert. Die Phase und Amplitude von $S_s(t)$ hängen deutlich stärker von Anregungsfrequenz ab als $S_e(t)$. Falls kein Metallzylinder vorhanden ist, ist $S_e(t)$ gleich Null.

Unter der Annahme, dass sich $S_d(t) + S_e(t)$ durch einen defekten Draht nicht ändern, können diese zu $S_i(t)$ zusammengefasst werden:

$$S_s(t) = S_i(t) + S_s(t) = A_i e^{i(\theta_i + \omega t)} + A_s e^{i(\theta_s + \omega t)}$$

Die unterschiedlichen Abhängigkeiten von der Anregungsfrequenz und dem Abstand des Magnetfeldsensors zur Erregereinheit ermöglichen eine Anpassung der Phase durch den Messaufbau und eine rohrleitungswandspezifische Wahl der Frequenz. Insbesondere ist für jede Rohrleitung in Kombination mit der Auslegung der insbesondere Spulen aufweisenden Erregereinheiten, deren Anregungsfrequenz und dem Abstand zwischen den Erregereinheiten und dem oder den Magnetfeldsensoren im Wege einer Kalibrierung das optimale Setup zu bestimmen. Hierfür können im Vorfeld eine Messreihe eigene Versuche durchgeführt werden oder eine Datenbank mit Kalibrierdaten verwendet werden.

10

S_s ist dann gut zu bestimmen, wenn $S_s(t)$ orthogonal zu $S_i(t)$ ausgerichtet ist. Darüber hinaus sollten bei Vorhandensein eines Metallzylinders $S_d(t)$ und $S_e(t)$ möglichst entgegengesetzt laufen, wobei allerdings bereits bei Winkeln von rund 50° gute Messergebnisse erzielt werden können.

15

Aus der vorstehenden geometrischen Beziehung folgt weiterhin, dass die Abhängigkeit der Phasenänderung von dem Amplitudenbeitrag A_s mit geringerem A_i größer wird. Durch die Verwendung von zwei Erregereinheiten, die entgegengesetzte magnetische Wechselfelder erzeugen, wird nun A_i reduziert. Je nach Setup ergeben sich hierbei bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. bei Verwendung eines erfindungsgemäßen Setups Sensitivitätsverbesserungen in der Messung um einen Faktor 10 bis 40 gegenüber dem Stand der Technik, wobei hierbei berücksichtigt wird, dass sich aufgrund der Verwendung zweier Erregereinheiten weitere Vorteile bei der Erkennung des Defekts ergeben. Wie nachfolgend noch erläutert

20

wird, erhält das Defektsignal durch die Verwendung von zwei Spulen eine spezielle Form, die seine Detektion erheblich erleichtert.

Gegenüber dem Stand der Technik erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren und
5 der Aufbau einer nachfolgend noch beschriebenen Inspektionsvorrichtung stellen-
weise eine signifikante Verkürzung des Messaufbaus um zumindest einen Faktor
zwei. Gleichzeitig ist das Verfahren deutlich empfindlicher in Bezug auf das Aufspü-
ren von Bruchstellen. Da geringere Distanzen zwischen den Erregereinheiten ver-
wendet werden können, hat der Sensor nicht nur eine bessere Auflösung, sondern
10 eine dazugehörige Vorrichtung ist darüber hinaus deutlich rohrleitungsgängiger.

Einander entgegengesetzt sind die erzeugten Magnetfelder dann, wenn die zugehö-
rigen Erregereinheiten so ausgelegt sind, dass sich die die magnetischen Wechsel-
felder beschreibenden Vektoren der magnetischen Feldstärke bzw. Flussdichte ei-
15 nander entgegengesetzt bzw. zumindest annähernd einander entgegengesetzt sind
(Winkelabweichung insbesondere $<30^\circ$, vorzugsweise weniger als 10° , von einer di-
rekten Ausrichtung in entgegengesetzter Richtung). Insbesondere werden die mag-
netischen Wechselfelder (auch „Magnetfelder“) in axialer Richtung und genau einan-
der entgegengesetzt erzeugt.

20

Bezüglich der Erzeugung der einander entgegengesetzten Magnetfelder durch die
Erregereinheiten sollten sich diese in ihrer Phase bestenfalls um 180° unterschei-
den. Abweichungen von nicht mehr als 20° sind ebenfalls noch geeignet, um die De-
fekte des Betonspannelements zu ermöglichen.

Zur Erzeugung der elektromagnetischen Wechselfelder werden insbesondere Spulen verwendet, diese sind vorzugsweise axial angeordnet, d.h. in Längsrichtung einer Inspektionsvorrichtung mit symmetrisch um deren Längsachse bzw. Längsmittelachse herum geführten Wicklungen. Die Spulenachse liegt dann insbesondere in der Längsmittelachse der Inspektionsvorrichtung. Als Magnetfeldsensoren können insbesondere Hallsensoren oder GMR-Sensoren zum Einsatz. Sofern der Magnetfeldsensor eine Spule aufweist ist deren Spulenachse vorzugsweise parallel und insbesondere deckungsgleich zur Längsmittelachse.

10

Eine erfindungsgemäße Inspektionsvorrichtung zur Inspektion eines metallischen Betonspannelements einer insbesondere wasserführenden Rohrleitung weist wenigstens eine vorzugsweise eine erste Erregerspule umfassende erste Erregereinheit zur Erzeugung eines ersten magnetischen Wechselfeldes sowie wenigstens eine von der ersten Erregereinheit beabstandete, vorzugsweise eine zweite Erregerspule umfassende, zweite Erregereinheit zur Erzeugung eines zweiten magnetischen Wechselfeldes auf, wobei die Erregereinheiten dergestalt ausgebildet und ansteuerbar sind, dass das erste und zweite Magnetfeld entgegengesetzte Richtungen aufweisen. Insbesondere sind die Erregereinheiten in Längsrichtung der Inspektionsvorrichtung, die im Betrieb in etwa einer Längsachse der zu inspizierenden Rohrleitung entspricht, voneinander beabstandet. Des Weiteren weist die erfindungsgemäße Inspektionsvorrichtung wenigstens einen zwischen der ersten und der zweiten Erregereinheit angeordneten Magnetfeldsensor zur Aufnahme eines resultierenden Magnetfelds auf. Es versteht sich, dass bei einer solchen Inspektionsvorrichtung, die

15

20

rohrleitungsgängig ausgebildet ist, hierfür eine entsprechende Elektrik bzw. Elektronik aufweist. Zur Aufnahme der Daten ist der Magnetfeldsensor ebenfalls mit dieser Elektronik verknüpft. Darüber hinaus ist die erfindungsgemäße Inspektionsvorrichtung mit weiteren üblichen Mitteln zur autarken Fahrt in einer Rohrleitung ausgestattet, wozu Energiespeichermittel, Datenspeichermittel sowie insbesondere auch Mittel zur Bestimmung der Lage der Vorrichtung in einer Rohrleitung gehören können.

Die Vorrichtung ist insbesondere dergestalt als autarke Inspektionsvorrichtung ausgebildet, dass sie ohne eine Kabelverbindung zur Energie- und/oder Datenkommunikation und somit ungebunden durch eine Rohrleitung fahren kann. Hierbei ist sie zur Verwendung in einem vor- oder nachbeschriebenen, erfindungsgemäßen Verfahren ausgebildet.

Vorteilhafterweise werden von den Erregereinheiten Magnetfelder erzeugt, deren Amplituden sich um nicht mehr als 10 %, bevorzugt um nicht mehr als 5 % unterscheiden. Möglichst gleich große Amplituden heben sich optimalerweise auf. Es kann daher erfindungsgemäß von Vorteil sein, wenn die erzeugten Magnetfelder sich geringfügig um nicht mehr als 10 % und bevorzugt um nicht mehr als 5 % unterscheiden, gleichwohl eben nicht gleich große Amplituden aufweisen. Dies beruht auf der Erkenntnis, dass je geringer der Unterschied der von den beiden Erregereinheiten erzeugten resultierenden Magnetfelder ist, desto besser die durch einen Defekt des Betonspannelements erzeugte Störung gemessen werden kann, gleichzeitig jedoch das Phasensignal bei zu kleinen Werten undefiniert wird. Daher kann für eine stabile Phasenbestimmung des Messsignals ein geringer Unterschied zwischen 0

und bis 10% bzw. bis 5 % bezüglich der Amplitude der erzeugten magnetischen Wechselfelder vorteilhaft sein und eingestellt werden.

Allgemein können Frequenz und Abstand rohrspezifisch gewählt werden, wozu eine
5 entsprechende Kalibrierdatenbank verwendbar ist.

Vorzugsweise sind die mit entgegengesetzten Richtungen versehenen magnetischen Wechselfelder maßgeblich axial ausgerichtet, d.h. in axialer Richtung erzeugt, beispielsweise durch um eine Längsmittelachse der Inspektionsvorrichtung herum
10 verlaufende Windungen einer Spule, die darüber hinaus noch einen Magnetkern entlang der oder die Längsmittelachse aufnehmend besitzen kann. Ein solches Setup ist für insbesondere spiralförmig angeordnete Betonspannelemente, welche als in axialer Richtung verlaufende Struktur angesehen werden können, vorteilhaft, da die Spulen ausreichend groß gebaut werden können und insbesondere einen Durch-
15 messer von bis zu 75 % des Durchmessers der betrachteten Rohrleitung aufweisen können.

Während einer Inspektion bzw. Messfahrt mit einer Inspektionsvorrichtung werden die vom Magnetfeldsensor aufgenommenen Messdaten entweder in der Inspektions-
20 vorrichtung, beispielsweise in Form eines Molches, direkt gespeichert und dort weiterverarbeitet. Alternativ können die Daten auch nach Beendigung einer Messfahrt bzw. eines Messlaufes aus der Inspektionsvorrichtung ausgelesen werden und in einer üblichen EDV-Vorrichtung ausgewertet werden. Eine solche elektronische Datenverarbeitungsvorrichtung weist u.a. die üblichen Mittel wie Prozessor, transienter

und dauerhafter Speicher, Ein- und Ausgabeschnittstellen und Mittel zur Steuerung der Programmabläufe zur Auswertung der Daten auf. Die EDV-Vorrichtung ist dazu ausgebildet, die Auswertung der Messdaten hinsichtlich Amplitude und Phase vorzunehmen. Die EDV-Vorrichtung kann auch Teil der Inspektionsvorrichtung sein, so
5 dass bereits die detektierten Fehlstellen sowie gegebenenfalls zugehörige Rohdaten auslesbar sein können. Weiterhin kann die Inspektionsvorrichtung Mittel zu Bestimmung der Position und Lage der Inspektionsvorrichtung aufweisen. Die Lage- und Positionsdaten beispielsweise von Gyros oder einem Odometer können mit den Messdaten des Magnetfeldsensors verknüpft werden, um die Position eines Defek-
10 tes zu identifizieren.

Vorteilhafterweise wird in einer Auswertung ein Defekt des Betonspannelements auf Basis zweier einander folgender und insbesondere unterschiedlicher Extrema der Amplitude und/oder der Phase des resultierenden Feldes detektiert. Eine solche,
15 schwingungsähnliche Signalform erlaubt eine einfachere Detektion des Bruches bei dem Vorhandensein von Rauschen und ist darüber hinaus leichter in den Messdaten zu detektieren als die im Stand der Technik erzeugten Signale. Beispielsweise können solche schwingungsähnlichen Signale mittels einer Wavelet-Analyse basierend auf dem Haar-Wavelet detektiert werden. Eine Wavelet-Analyse erlaubt es, eine
20 mögliche Längung der Signalform beispielsweise aufgrund von mehreren aufeinanderfolgenden Störungen bzw. Brüchen des Betonspannelements zu berücksichtigen.

Insbesondere werden somit die empfangenen Daten auf Wavelets analysiert, die sich beim Vorbeibewegen der Inspektionsvorrichtung an der Bruchstelle des Betonspannelements ergeben, wobei als Wavelet üblicherweise eine wellenartige Schwingung eines Signals, d.h. die Einnahme eines Minimums mit direktem Übergang in
5 ein Maximum oder umgekehrt angesehen wird. Bei der Betrachtung der Real- und Imaginärteile des Messsignals handelt es sich ungeachtet etwaigen Hintergrundrauschens um eine Bewegung um den Nullpunkt.

Vorteilhafterweise werden die Messdaten vom Magnetfeldsensor mittig zwischen
10 den Erregereinheiten aufgenommen, wobei mittig beispielsweise in einer Seitenansicht auf die Erregereinheiten und den dann erkennbaren Abstand aufgrund einer Beabstandung der Erregereinheiten in Längsrichtung der Inspektionsvorrichtung meint. An diesem Ort ergeben sich die optimalen Voraussetzungen dafür, ein aufgrund einer Störung erzeugtes Messsignal zu entdecken. Es kann allerdings bei der
15 Betrachtung bestimmter Phasenunterschiede Sinn machen, den Magnetfeldsensor außermittig zwischen den Erregereinheiten zu platzieren. Eine mittige Anordnung meint eine Anordnung in einem mittleren Bereich zwischen den Erregereinheiten und insbesondere eine Anordnung die die genaue Mitte zwischen den Erregereinheiten umfasst. Magnetische Teile der Inspektionsvorrichtung und/oder Ungenauigkeiten
20 bei der Herstellung können eine der Erregereinheiten verstärken oder schwächen, was zu einer ungleichmäßigen Wicklung der Erregereinheit führt. Dieses Ungleichgewicht kann zumindest teilweise durch Verschieben der Sensorposition des Magnetfeldsensors in Längsrichtung korrigiert werden.

Die Inspektionsvorrichtung bewegt sich während der Aufnahme der Messdaten in der Rohrleitung autark durch diese hindurch. Aufgrund der hiermit einhergehenden Kabelungebundenheit können große Distanzen überwunden werden. Da sich bei einem entsprechenden, erfindungsgemäßen Setup der Inspektionsvorrichtung auch
5 der Energieverbrauch aufgrund des deutlich besser erkennbaren Signals als im Stand der Technik optimieren lässt, können auch ungebunden große Distanzen von mehr als einem Kilometer Rohrleitung inspiziert werden.

Die Bewegung der Inspektionsvorrichtung erfolgt insbesondere passiv aufgrund des
10 in der Rohrleitung vorhandenen Flusses, insbesondere des Wassers. Es kann sich alternativ auch um eine sich aktiv durch die Rohrleitung mit eigenen Antriebsmitteln bewegende Inspektionsvorrichtung handeln. Auch Kombinationen von aktiv und passiv angetriebenen Inspektionsvorrichtungen sind denkbar, die zunächst nur eine erste grobe Inspektion machen und dann bei Feststellen von relevanten Signalen
15 aus dem passiven Modus in einen aktiven Modus wechseln, um zu der Stelle gegen den Fluss der Strömung zurückzukehren, um die entdeckte Stelle genauer zu inspizieren.

Die Erregereinheiten sind in Längsrichtung der Inspektionsvorrichtung hintereinander und insbesondere symmetrisch um die Längsmittelachse herum angeordnet, wo-
20 bei ein magnetisches Wechselfeld vollumfänglich erzeugt wird. Sie können hierbei über dieselbe Elektronik parallel angesteuert werden oder auch miteinander synchronisierte, jeweils eigene Steuereinheiten aufweisen.

Weiterhin wird erfindungsgemäß die Erkenntnis verwendet, dass in Abhängigkeit der Frequenz zur Erzeugung des ersten und zweiten magnetischen Wechselfelds und des Abstands der beiden Erregereinheiten am Ort der Messdatenerfassung ein Phasenunterschied zwischen dem sich aus dem direkten Signal, dem eines etwaig vor-

5 handenen Zylinders bestimmten Signalanteils und dem aufgrund des zumindest einen Betonspannelements entstandenen Signalanteils bewirkt werden kann. Durch sinnvolle Wahl der Frequenz ist die Phase und/oder Amplitude des Messsignals hauptsächlich aufgrund des sich durch das Betonspannelement ergebenden Signals beeinflusst.

10

Somit haben Messungen bei verschiedenen Frequenzen eine unterschiedliche Empfindlichkeit für verschiedene Strukturelemente in der Rohrleitungswand hat. Da die Messung bei verschiedenen Frequenzen gleichzeitig durchgeführt werden kann, ist es bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung vorteilhaft, mehr als zwei Fre-

15 quenzen für die Messung zu verwenden. Als Anregungssignal kann dann ein Impuls mit einem breiteren Frequenzspektrum verwendet werden.

20

Bei Messungen mit zumindest zwei verschiedenen Anregungsfrequenzen kann das sich ergebene Signal insbesondere von strukturellen Einflüssen der Rohrleitung bereinigt werden. Ergeben sich bei verschiedenen Frequenzen, von denen eine für Brüche sensitiver ist als die andere, gleichzeitig Signaländerungen, ist dies ein Hinweis auf Strukturänderungen der Rohrleitung. So kann bei Rohrleitungen mit Metall-

zylindern einer Wandstärke von 2 mm mit Frequenzen von 20 Hz und von 200 Hz

gemessen werden, wobei Brüche des Betonspannelements aufgrund des Skin-Effekts im Metallzylinder im Wesentlichen nur bei 20 Hz zu detektieren sind. Treten dennoch gleichzeitig Änderungen des Signals sowohl bei 20 Hz als auch bei 200 Hz auf, liegt eine strukturelle Änderung der Rohrleitung, die nicht auf einem Bruch des

5 Betonspannelements beruht, vor.

Darüber hinaus können bei Verwendung verschiedener Frequenzen etwaige Strukturänderungen anhand derer charakteristischen Signale im resultierenden Magnetfeld identifiziert werden. Die somit gefundenen Signalformen können zur verbesserten

10 Erkennung entsprechender Strukturänderungen bzw. Strukturen in einer Datenbank hinterlegt und für zukünftige Strukturerkennungen verwendet werden.

Insbesondere werden als Erregereinheiten Spulen verwendet, die symmetrisch um die Längsmittelachse herumgewickelt sind. Diese sind bei Rohren mit Metallzylindern

15 vorzugsweise in einem Bereich von 10 bis 800 Hz und somit niederfrequent betreibbar. Bei 800 Hz liegt die maximale Wandstärke bei 1 mm. Insbesondere bei Rohrleitungen mit einer Wandstärke des Metallzylinders von mehr als 2 mm wird eine Frequenz weniger als 200 Hz verwendet.

20 Bei Rohrleitungen ohne Metallzylinder werden die magnetischen Wechselfelder vorzugsweise mit Frequenzen größer 100 Hz, vorzugsweise größer 1000 Hz erzeugt. Eine Obergrenze für die Erregerfrequenz liegt insbesondere bei 1000 kHz.

Insbesondere erfolgt die Anregung der magnetischen Wechselfelder kontinuierlich, sowohl bei Verwendung einer als auch bei Verwendung mehrerer Frequenzen. Bei der Verwendung von höheren Frequenzen oberhalb von 1 kHz können die magnetischen Wechselfelder mit Frequenz-Bursts angeregt werden, so dass auch bereits
5 bei kurzen Messaufnahmen ausreichend Informationen des resultierenden Magnetfelds gesammelt werden können.

Vorzugsweise können bei Verwendung mehrerer Frequenzen diese gleichzeitig und/oder nacheinander erzeugt werden.

10

In der Datenauswertung findet insbesondere bei Verwendung mehrerer Frequenzen bereits auf der Elektronik-Seite vorzugsweise ein Lock-in-Verstärker Anwendung, um die frequenzspezifischen Signale des resultierenden Magnetfelds auszuwerten.

15 Insbesondere liegen die Frequenzen der magnetischen Wechselfelder für Rohrleitungen mit Metallzylindern einer Wandstärke von 2 mm im Bereich von 20 bis 50 Hz. Bei Verwendung zumindest einer weiteren Frequenz liegt diese weitere Frequenz vorzugsweise zwischen 100 Hz und 800 Hz. Durch die in axialer Richtung erzeugten magnetischen Wechselfelder ist das resultierende Magnetfeld insbesondere nicht
20 empfindlich bezüglich eines Lift-off eines Magnetfeldsensors von einer Wand der Rohrleitung. Daher wird resultierende Magnetfeld insbesondere in der Rohrleitungsmitte gemessen, wodurch ein Magnetfeldsensor ausreichend groß und deutlich größer als im Stand der Technik gebaut werden kann. Eine Messung in der Rohrleitungsmitte entspricht einer Anordnung eines Magnetfeldsensors, beispielsweise in

Form einer Spule, symmetrisch um eine Längsmittelachse der Inspektionsvorrichtung herum.

Die axiale Anordnung des Sensors erlaubt die Verwendung eines deutlich größeren
5 Sensordesigns. Entsprechend kann der Durchmesser des Sensors bzw. der Sensor-
spule signifikant erhöht werden. Dies ermöglicht die Kompensation von Fluktuationen
aufgrund von Inhomogenitäten der Rohrleitungswand bzw. reduziert diese stö-
renden Einflüsse sowie etwaige geschwindigkeitsbedingte Störanteile des Messsig-
nals deutlich. Gegebenenfalls alternativ jedoch insbesondere ergänzend kann das
10 resultierende Magnetfeld mit einem ggf. weiteren, außerhalb der Rohrleitungsmitte
angeordneten Sensor gemessen werden. Dieser kann dicht an der Wand positioniert
werden, um zusätzliche Informationen über die Integrität der Rohrleitung zu erhalten.
Darüber hinaus können axiale und radiale Komponenten gemessen werden. Die
Aufnahme von zwei oder drei Komponenten des sich ergebenden bzw. resultieren-
15 den Magnetfeldes kann kombinierte Informationen über die Integrität der Rohrleitung
beinhalten.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens
wird das resultierende Magnetfeld mit mehreren Magnetfeldsensoren, die in Längs-
20 richtung der Inspektionsvorrichtung hintereinander und insbesondere axial auf der
Inspektionsvorrichtung angeordnet sind, und mithin an mehreren hintereinander be-
findlichen Positionen aufgenommen. Hierdurch wird nicht nur die Messung der
Amplitude und Phase des magnetischen Feldes, sondern auch dessen Variation ent-

lang der Rohrleitungsachse ermöglicht. Die verwendeten Daten können beispielsweise dazu verwendet werden, erste oder multiple Ableitungen der Amplituden- und Phasenfunktion zu bestimmen. Die kombinierte Auswertung der entdeckten Merkmale für die Amplituden- und Phasenfunktion und deren Variation entlang der

5 Längsachse ermöglicht es, die Anzahl von etwaigen Fehlbestimmungen aufgrund von Inhomogenitäten der Rohrleitung zu reduzieren.

Vorteilhafterweise können bei mehreren hintereinander liegenden, vorzugsweise axialen Sensoren diejenigen Daten eines Magnetfeldsensors ausgewertet werden, bei

10 dem das zumindest ungefähre Gleichgewicht zwischen den von den Erregereinheiten erzeugten Wechselfeldern für die Auswertung am besten geeignet ist. Da das Gleichgewicht zwischen den Erregereinheiten bzw. der hiermit erzeugten magnetischen Wechselfelder sich aufgrund einer Vielzahl von Einflüssen der Rohrleitung oder des Inspektionsgerätes bzw. der Inspektionsvorrichtung ändern kann, kann es

15 vorteilhaft sein, auf einen anderen als den exakt mittig zwischen den Erregereinheiten befindlichen Sensor und dessen Daten umzuschalten. Insbesondere ist der oder sind die Magnetfeldsensoren allerdings in einem mittig zwischen den Erregereinheiten angeordneten Bereich angeordnet, der 50% des Abstands zwischen den Erregereinheiten entspricht. Entsprechend werden insbesondere in diesem Bereich die

20 Messdaten aufgenommen.

Der oder die Magnetfeldsensoren einer erfindungsgemäßen Inspektionsvorrichtung sind somit zwischen den in Längsrichtung voneinander beabstandeten Sensoren angeordnet, wobei insbesondere die Inspektionsvorrichtung zur Bewegung in einer

Rohrleitung eines Durchmessers D ausgebildet ist und der Abstand der Erregereinheiten $< 2 \cdot D$ und insbesondere $< 1,5 \cdot D$ ist. Weiter vorteilhafterweise ist der Abstand insbesondere bei passiv mittels entsprechender Cups oder Disks antreibbarer Inspektionsvorrichtungen $< 2 \cdot \text{Durchmesser}_{\text{Cup/Disk}}$ und insbesondere $< 1,5 \cdot \text{Durchmesser}_{\text{Cup/Disk}}$.

Während bei erfindungsgemäßen Vorrichtungen wie vorbeschriebenen der Magnetfeldsensor in Längsrichtung betrachtet mittig und entsprechend eine zentrale Längsmittelachse der Inspektionsvorrichtung aufnehmend angeordnet sein kann, können zusätzlich in Längsrichtung und/oder in radialer Richtung versetzt Magnetfeldsensoren zwischen den Erregereinheiten angeordnet sein.

Vorteilhaft ist insbesondere die Verwendung mehrerer in radialer Richtung versetzt zueinander angeordneter Sensoren zur jeweiligen Messung des resultierenden Magnetfeldes vor dem Hintergrund der Erkenntnis, dass in Abhängigkeit der Struktur der Wand der Rohrleitung die Position einer Bruchstelle des Betonspannelementes in Umfangsrichtung die axiale Symmetrie des magnetischen Feldes beeinflussen kann. Beispielsweise ergeben sich in einem Fall, in dem das Betonspannelement in Form eines Drahtes spiralförmig um den metallischen, zylinderförmigen Kern der Rohrleitung gewickelt wird, bei einem Abstand der Windungen von mehreren cm und den hiermit einhergehenden kontinuierlichen Reduktionen der auftretenden Ströme unsymmetrische Komponenten des Magnetfeldes in der Nähe der Fehlstelle. Das Auftreten und die Änderung von solchen unsymmetrischen Komponenten kann durch entsprechend radial versetzte Sensoren detektiert werden.

Es ist bei einem weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel vorteilhaft, wenn die von den Erregereinheiten erzeugten Wechselfelder mittels zweier Abschirmelemente in Richtung des zumindest einen Magnetfeldsensors abgeschwächt werden.

- 5 Die Abschirmelemente sind insbesondere scheibenartig einmal vor und einmal hinter dem oder den Magnetfeldsensoren in Richtung der jeweiligen Erregereinheit angeordnet. Das Abschirmelement ist insbesondere aus einem leitenden bzw. magnetischen Material. Durch die Verwendung solcher Abschirmelemente kann die Empfindlichkeit der Messdaten erhöht werden und darüber hinaus entsprechend die Dis-
- 10 tanz zwischen den Erregereinheiten reduziert werden, was wiederum die Auflösung der Messungen verbessert. Zu berücksichtigen ist allerdings gleichzeitig, dass die Abschirmelemente aufgrund ihres Gewichts und des vergleichsweise großen benötigten Durchmessers die Rohrleitungsgängigkeit der Vorrichtung beeinträchtigen können. Insofern sind in gewisser Weise flexible Abschirmelemente zur Verbesse-
- 15 rung der Bogengängigkeit beispielsweise in Form von schirmartig aufspannbaren bzw. einziehbaren Abschirmelementen vorteilhaft.

- Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden nacheinander und/oder gleichzeitig magnetische Wechselfelder unterschiedli-
- 20 cher Frequenz erzeugt und die sich hieraus ergebenden Messdaten von dem zumindest einen Magnetfeldsensor aufgenommen. Dem liegt die Erkenntnis zugrunde, dass das Gleichgewicht zwischen den erzeugten magnetischen Wechselfeldern beispielsweise durch eine Bewegung der Inspektionsvorrichtung oder durch Änderun-

gen in der Rohrleitungswand gestört werden kann. Solche Störungen des Gleichgewichts resultieren in Änderungen von Amplitude und Phase des Signals in den Messdaten, welches entsprechend dann als Bruchsignal des Betonspannelements fehlinterpretiert werden kann. Solche Fehlinterpretationen können durch Messung
5 bei verschiedenen Erregerfrequenzen detektiert und intern ausgeschlossen werden. Änderungen aufgrund von Brüchen des Betonspannelements sind in der Signalform bei unterschiedlichen Frequenzen deutlich anders als Änderungen aufgrund beispielsweise von Störungen des Gleichgewichts aufgrund der Toolbewegung bzw. der Wandstruktur.

10

Messungen bei unterschiedlichen Frequenzen führen zu unterschiedlichen Fehler-
signalen an der gleichen Fehlerstelle. So erhält ein Defekt ein spezifisches Muster,
das sich aus Signalen bei unterschiedlichen Frequenzen zusammensetzt und sich
so vom Rauschen unterscheidet. Im Rahmen der Erfindung wurde festgestellt, dass
15 eine kombinierte Messung bei verschiedenen Frequenzen nicht nur eine bessere Erkennung des Fehlers, sondern auch eine bessere Einschätzung der Anzahl der Brüche ermöglicht.

20

Bei der Verwendung verschiedener Frequenzen kann eine Hauptfrequenz als diejenige Frequenz gewählt werden, die aufgrund etwaiger Kalibrierungsdaten das stärkste Störsignal im Falle eines Bruches des Betonspannelements ergibt, beispielsweise die die stärkste Phasenänderung ergibt. Eine weitere Frequenz kann dann kleiner gewählt werden als die Hauptfrequenz, beispielsweise eine Frequenz, bei der sich hauptsächlich ein Amplitudenunterschied im Messsignal ergibt.

Zur Identifikation von anderen Strukturänderungen außerhalb eines Bruches des Betonspannelements kann wie vorbeschrieben wenigstens eine zweite Frequenz auch größer als die Hauptfrequenz gewählt werden, um Skin-Effekte eines etwaig vorhandenen Metallzylinders zu verstärken und somit eine Wechselwirkung mit dem Betonspannelement auszuschließen.

Für die Erzeugung unterschiedlicher Frequenzen können dieselben Erregereinheiten oder jeweils mehrerer Paare von Erregereinheiten, die bei verschiedenen Frequenzen agieren, auf derselben Inspektionsvorrichtung verwendet werden. Natürlich ist es auch möglich, Inspektionsläufe, die bei verschiedenen Frequenzen nacheinander stattgefunden haben, miteinander zu kombinieren.

Vorteilhafterweise wird in der Datenauswertung ein Störsignal durch Subtraktion der skalierten Amplitudenwerte von den Phasenwerten reduziert. Hierzu können zugehörige optimale Skalierungsfaktoren für das Amplitudensignal wie auch etwaige Parameter des Messsystems wie beispielsweise die Anregungsfrequenz während eines Kalibrierungsprozesses bestimmt werden. Hierbei liegt wiederum die Erkenntnis zugrunde, dass das sich aufgrund eines Bruchs des Betonspannelementes ergebende Störsignal in Amplitude und Phase unterschiedlich niederschlägt.

Für eine Bestimmung der Position der Bruchstelle in Umfangsrichtung ist es von Vorteil, eine Mehrzahl von Magnetsensoren um eine Längsmittelachse herum anzuordnen. Beispielsweise ist ein Setup vorteilhaft, bei dem neben einem einzelnen

Sensor, der symmetrisch zur Längsmittelachse, beispielsweise diese aufnehmend, ausgebildet ist, zusätzlich eine Mehrzahl von zwei, drei, vier oder mehr Sensoren gleichmäßig über den Umfang verteilt anzuordnen. Die in Umfangsrichtung um die Längsmittelachse herum verteilten Sensoren können diese zum Teil auch schneiden
5 bzw. können zumindest in Längsrichtung betrachtet sich zumindest teilweise gegenseitig überdecken.

Besonders vorteilhaft ist die Verwendung einer Inspektionsvorrichtung, bei der der Abstand der Erregereinheiten variabel einstellbar ist. Hierdurch lässt sich die Inspek-
10 tionsvorrichtung an unterschiedliche Rohrleitungen anpassen. Die Anpassbarkeit ergibt sich beispielsweise aufgrund eines austauschbaren Zentralkörpers, aufgrund austauschbarer Module des Zentralkörpers, auf denen die Sensoren befestigt sind bzw. sein können, oder auch aufgrund eines entsprechenden Befestigungssystems, beispielsweise auf Basis eines Gewindes oder eines Stecksystems, über das der
15 Abstand der Erregereinheiten zueinander in Längsrichtung eingestellt werden kann.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung sind der nachfolgenden Figurenbeschreibung zu entnehmen.

20 Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Gegenstand in einer perspektivischen Ansicht,

Fig. 2 den Gegenstand nach Fig. 1 in einer Seitenansicht,

Fig. 3 den Gegenstand nach Fig. 1 in einer Betriebsposition in einer wasser-
 führenden Rohrleitung,

Fig. 4 eine Veranschaulichung zur Signalerzeugung,

5

Fig. 5 eine Betrachtung der Anteile der Messdaten bei einem vorhandenen
 Defekt des Betonspannelements,

Fig. 6 eine Veranschaulichung eines Sensor-Setups mit Auflösung der Posi-
 tion in Umfangsrichtung,

10

Fig. 7 eine weitere Veranschaulichung des Sensor-Setups für eine Auflösung
 in Umfangsrichtung,

Fig. 8 Veranschaulichung für die Phasenwerte bei verschiedenen Frequen-
 zen, Phasen und Amplitudendaten im Bereich eines Defekts und bei
 Vorhandensein von Interferenzen.

15

Fig. 9 eine Veranschaulichung für Phasen- und Amplituden-Funktionen in der
 Nähe eines Defektes und bei signifikanten Interferenzen,

20

Fig. 10 ein weiteres erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel,

Fig. 11 den Gegenstand nach Fig. 10 in einem vertikalen Längsschnitt,

Fig. 12 bis

Fig. 14 verschiedene Messergebnisse für eine Mehrzahl von Versuchen.

- 5 Einzelne technische Merkmale der nachbeschriebenen Ausführungsbeispiele können auch in Kombination mit vorbeschriebenen Ausführungsbeispielen sowie den Merkmalen eines der unabhängigen Ansprüche und etwaiger weiterer Ansprüche zu erfindungsgemäßen Gegenständen kombiniert werden. Sofern sinnvoll werden funktional zumindest in Teilen gleichwirkende Elemente mit identischen Bezugsziffern
- 10 versehen.

Eine erfindungsgemäße Inspektionsvorrichtung 2 weist eine erste Erregereinheit 4 mit einer konzentrisch zur Längsmittelachse 24 ausgebildete erste Erregereinheit 4 mit einer symmetrisch um eine Längsmittelachse der Inspektionsvorrichtung 2 ver-

15 laufenden ersten Erregerspule 6 auf. In Längsrichtung der Inspektionsvorrichtung versetzt angeordnet ist eine zweite Erregereinheit 8, die eine zweite Erregerspule 10 besitzt, die ebenfalls symmetrisch um die Längsmittelachse 24 der Vorrichtung 2 herum angeordnet ist (Fig. 1). Die beiden Erregereinheiten 4, 8 werden über eine in dem Zentralkörper 22 der Inspektionsvorrichtung 2 vorhandene Elektronik, indiziert

20 durch einen gestrichelten Kasten 25, angesteuert und betrieben. Die Erregerspulen 6, 10 erzeugen in axialer Richtung, d.h. in Richtung der Längsmittelachse 24 einander entgegengesetzte magnetische Wechselfelder. Mittig zwischen den Erregereinheiten 4, 8 befindet sich ein Magnetfeldsensor 12 mit einer ebenfalls symmetrisch um die Längsmittelachse 24 verlaufenden Spule 14, deren Durchmesser in Richtung

der Längsmittelachse 24 betrachtet 75 % bis 100 % des Durchmessers der Erregerspulen 6 bzw. 10 beträgt. Dicht an den Erregereinheiten 4, 8 sind Abschirmelemente 20 angeordnet. Diese können wie auch bei anderen Ausführungsbeispielen allgemein direkt an der jeweiligen Erregereinheit platziert werden, so dass sich ein etwaiges, aufgrund einer Beeinflussung der Abschirmelemente ergebendes induktives Feld aufgrund des dann vorhandenen Abstandes zu dem Magnetfeldsensor hin möglichst abschwächt.

Die Inspektionsvorrichtung 2 ist vorliegend mit einer Reihe von Zentrierelementen 18 in Form von an federbelasteten und endseitig mit Rollen versehenen Armen ausgestattet, die die Vorrichtung 2 auf ihrer Fahrt durch die Rohrleitung möglichst in deren Mitte zentrieren. Über Anbindungsbereiche 16 kann die Inspektionsvorrichtung 2 mit weiteren funktionalen Baugruppen eines Inspektionsmolches gekoppelt und beispielsweise von diesem durch eine Rohrleitung gezogen werden. Alternativ kann die Inspektionsvorrichtung auch selbst als Molch mit entsprechenden Cups oder Disks zum passiven Vortrieb in einer Rohrleitung ausgebildet werden.

Die zu inspizierende wasserführende Rohrleitung 26 (Fig. 3) weist einen Innenraum auf, der von der Inspektionsvorrichtung 2 in Längsrichtung, d.h. in Richtung der Längsmittelachse 24 nahezu vollständig ausgefüllt wird. Die Rohrleitung 26 umfasst eine metallische, zylinderförmige Schicht in Form eines Metallzylinders 28, der innenseitig von einer inneren Betonschicht 30 und außenseitig von einer äußeren Betonschicht 32 bedeckt ist. In der äußeren Betonschicht 32 ist ein spiralförmig um die Rohrlängsachse, die im Idealfall der Längsmittelachse der Inspektionsvorrichtung 2

entspricht, herumgeführtes Betonspannelement 34 in Form eines Betonspanndrahtes vorhanden. Dieser Betonspanndraht ist dicht an der zylinderförmigen Metallschicht 28 angeordnet, berührt diese jedoch nicht. Gleichwohl ist aufgrund des geringen Abstandes zwischen dem Metallzylinder 28 und dem Betonspannelement 34 ein
5 für die Messung ausreichender Stromfluss möglich. Zusätzlich können gleichwohl noch Anbindungspunkte des Betonspanndrahtes an den Enden des jeweiligen Rohrleitungssegments der Rohrleitung 26 vorhanden sein.

Je nach Position der Inspektionsvorrichtung 2 in der Rohrleitung 26 ergibt sich bei
10 dem Vorhandensein eines Defekts 36 beim Durchfahren der Rohrleitung ein charakteristisches und in Fig. 4 dargestelltes Signal mit zwei aufeinanderfolgenden Extrema. Betrachtet werden nachfolgend vier verschiedene Positionen A, B, C und D des Defekt-Signals, denen jeweilige Positionen der nur schematisch mit den Erregereinheiten 4 und 8 sowie einer einen Magnetfeldsensor 12 dargestellten Inspekti-
15 onsvorrichtung 2 zugeordnet sind.

In Punkt A ist in der Rohrleitung 26 am Ort des Magnetfeldsensors ein Gleichgewicht vorhanden, und es wird kein relevantes Signal gemessen. Der induzierte Strom fließt entlang des Betonspannelements und geht teilweise in die Schicht 28 über. Der
20 Strom durch die durch den Metallzylinder ausgebildeten Metallschicht 28 schließt den Stromkreis durch das Betonspannelement und eben jene Schicht 28. Die außerhalb der Schicht 28 befindlichen Pfeile 38 bzw. 40 zeigen die Richtung der Fortpflanzung des Stroms durch das Betonspannelement an. Die Spiralform des Betonspann-

elementes sorgt dafür, dass sich der Stromfluss entlang des Rohres von einer Windung der Spirale zur anderen ausbreitet. Durch den Stromfluss wird ein Magnetfeld induziert, das von dem Magnetsensor erfasst wird. Durch die entgegengesetzten magnetischen Wechselfelder kompensieren sich die Effekte am Ort des Magnetfeld-

5 sensors.

Aufgrund eines Defektes 36 ist in diesem Bereich kein Stromfluss möglich und somit wird kein bzw. ein anderes elektromagnetische Signal erzeugt, so dass sich die durch die Ströme im Betonspannelement erzeugten Magnetfelder auf Höhe des

10 Magnetfeldsensors, mithin an dessen longitudinaler Position, nicht kompensieren. Dieses Ungleichgewicht im resultierenden Magnetfeld, indiziert maßgeblich über einen Strom 40, wird am Ort des Magnetfeldsensors gemessen. Es ergibt sich ein vorliegend positives Extremum gekennzeichnet durch den Punkt B.

15 Durch Fortbewegung in der Rohrleitung schwächt sich dieses Signal wieder ab. In dem Moment, in dem der Defekt auf einer Höhe mit dem Magnetfeldsensor 12 angeordnet ist, ist wiederum eine Symmetrie hergestellt, und es ergibt sich ein Nulldurchgang in Punkt C.

20 Eine weitere Fortbewegung des Tools in der Rohrleitung, vorliegend in Richtung des rechten Figurenrandes, führt zu einem entgegengesetzten Signal, da nun im Bereich der Erregereinheit 4 der Defekt 36 die Ausbreitung des Stroms im Betonspannelement stört. Es ergibt sich aufgrund des ebenfalls durch den Pfeil 40 indizierten Ungleichgewichts ein lokales Minimum in den ausgewerteten Messdaten am Punkt D.

Eine weitere Fortbewegung der Inspektionsvorrichtung 2 in Richtung des rechten Figurenrandes führt dann wiederum zu einer Herstellung des Gleichgewichts, was durch eine entsprechend ausgehend von Punkt D nunmehr wiederum an den Nullpunkt angenäherte Kurve abgebildet ist.

Allgemein kann das alternierende magnetische Feld an der Sensorposition durch einen komplexen Vektor beschrieben werden, der sich mit einer Amplitude A_d und einer Phase θ_d beschreiben lässt als

$$S_d = A_d e^{i(\omega t + \theta_d)}$$

Das sich aufgrund des Defektes 36 ergebende Signal sowie die weiteren resultierenden Signale aufgrund der beiden erzeugten und einander entgegenstehenden Magnetfelder unterscheiden sich in Amplitude und Phase (Fig. 5). Mit S' und S'' sind die Signale, die durch die erste Erregereinheit 4 sowie durch die zweite Erregereinheit 8 induziert werden, gekennzeichnet. Mit dem Index "i" ist die Summe der zu dem Defekt insensitiven, induzierten und einander entgegengerichteten Wechselfelder beziffert. Mit dem Index "s" sind die Signalanteile gekennzeichnet, die aufgrund der Wechselwirkung der erzeugten magnetischen Wechselfelder mit dem Betonspannelement am Ort des Sensors gemessen werden. Vorliegend (Fig. 5) ist der Anteil S_i'' vernachlässigbar und entsprechend nicht abgebildet, da der Defekt die Ausbreitung des Stroms durch das Betonspannelement verhindert. Weiter ist S_i'' geringfügig kleiner als S_i' , was vorteilhaft für die Phasenbeziehung ist. Gleichzeitig ist die Anregungsfrequenz so gewählt, dass die Phasendifferenz zwischen den Vektoren S_i und S_s nahe 90° ist. Gemäß der vorliegenden Konfiguration ist die Komponente S_i' nicht

kompensiert, so dass sich ein entsprechender Defekt bzw. ein zugehöriger Phasenwinkel gut aus den Messdaten ableiten lässt.

Ein mögliches Sensor-Setup der Magnetfeldsensoren für die Bestimmung der Umfangsposition eines Defekts ist schematisch in Fig. 6 abgebildet. Hier befindet sich eine Mehrzahl von vorliegend fünf Magnetfeldsensoren 12 zwischen den Erregereinheiten 4 und 8. Dargestellt ist der Außenumfang der jeweiligen Spulen der Magnetfeldsensoren 12, die in der Fig. 7 in Längsrichtung betrachtet schematisch abgebildet sind. Die mittlere Spule wird dazu verwendet, die Defektposition in axialer Richtung, d.h. in Richtung der Längsmittelachse zu bestimmen. Die Analyse der relativen Signaländerungen in den vier weiteren Spulen bzw. Magnetfeldsensoren 12 ermöglicht die Bestimmung der Position in Umfangsrichtung. Beispielsweise kann ein Vergleich der Signale zwischen dem oberen und dem unteren Magnetfeldsensor 12 dazu verwendet werden, die Position des Defekts auf die obere oder untere Hälfte der Rohrleitung zu beschränken.

Fig. 8 veranschaulicht die sich ergebenden unterschiedlichen Phasenwerte des aufgrund des resultierenden Magnetfeldes ergebenden Messsignals bei verschiedenen Erreger- bzw. Anregungsfrequenzen und bei Vorhandensein eines starken Störsignals. Die durchgezogenen Linien der Fig. 8a, 8b, 8c zeigen das Signal bei einem im Versuchsaufbau defekten Betonspannelement. Die gestrichelten Linien zeigen die Phasenwerte für ein intaktes Betonspannelement. In der Abbildung 8a wurden die magnetischen Wechselfelder mit einer Frequenz von 50 Hz bestimmt, in der Abbildung gemäß Fig. 8b bei einer Frequenz von 200 Hz. Fig. 8c zeigt die Differenzen

zwischen den gemessenen Werten bei 50 Hz und 200 Hz. Die Auswirkungen des Defekts bei den Messungen mit 200 Hz ist insbesondere aufgrund des Skin-Effekts vernachlässigbar, wobei die Messungen bei 50 und 200 Hz für einen intakten Draht vergleichsweise ähnliche Signale ergeben. Durch die Subtraktion der Signale, die
5 bei verschiedenen Frequenzen gemessen wurden, kann das Interferenzsignal stark reduziert werden. Entsprechend kann der für einen Defekt charakteristische Signalverlauf mit zunächst einem lokalen Extremum (hier vorliegend positiver Art) und ein Übergang zu einem lokalen Extremum negativer Art deutlich erkannt werden.

10 In Fig. 9 sind exemplarisch die Phasen-Amplituden-Funktionen in der Nähe eines Defektes und bei signifikanten Interferenzen abgebildet. Die durchgezogene Kurve zeigt die Phasenwerte und die gestrichelte Kurve zeigt die Amplitudenwerte. Die Kurven gelten wiederum für ein Setup einer Rohrleitung mit einem Durchmesser von 440 mm. Der Anstieg des Phasenwertes in der Mitte des aufgenommenen Signals
15 korrespondiert mit dem Defekt. Die Amplitudenfunktion ist skaliert, wobei der Skalierungskoeffizient so gewählt wurde, dass nach der Skalierung auf den intakten Rohrleitungsabschnitten die Amplituden der Phasen-Amplituden-Funktionen gleich oder zumindest ähnlich sind. Außerhalb des Defektbereiches korrelieren Amplitude und Phasenfunktion miteinander, so dass hieraus ein Skalierungskoeffizient gewonnen werden
20 kann. Diese Korrelation kann dazu verwendet werden, den Einfluss von Interferenzen zu reduzieren, wobei die Korrelation beispielsweise in Abhängigkeit der Rohrleitungswand, der Anregungsfrequenz und des Abstandes zwischen den Anregungsspulen variieren kann.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Inspektionsvorrichtung ist insbesondere für mit Butterfly-Ventilen versehene, wasser- oder andere Medien führende Rohrleitungen verwendbar, wobei die Inspektionsvorrichtung 2 einen Zentralkörper 22 aufweist, der eine Mehrzahl von gelenkig und/oder fest am Zentralkörper 22 angeordneten Abstützelementen 42 aufweist (Fig. 10). Sofern die Abstützelemente 42 nicht gelenkig angeordnet sind bzw. keine abknickbaren Abschnitte aufweisen, sind die Abstützelemente 42 zumindest ausreichend biegsam ausgebildet, so dass bei Auftreffen auf ein Butterfly-Ventil der wirksame Querschnitt der Inspektionsvorrichtung 2 auf weniger als die Hälfte des Rohrleitungsdurchmessers verringert wird.

Am in Fahrtrichtung vorderen Ende der Inspektionsvorrichtung 2 ist ein Vortriebselement 44 angeordnet, welches im Medium aufgespannt ist und aufgrund des vom Medium ausgeübten Drucks einen Vortrieb und eine Mitnahme der Vorrichtung bewirkt. Auch dieses Vortriebselement 44 weist eine Mehrzahl von von Spannstäben 46 aufgespannten Segmenten 48 auf, welche sich aufgrund der gelenkigen Anordnung der Spannstäbe 46 am Zentralkörper 22 ebenfalls abknicken lassen, womit sich entsprechend auch der wirksame Querschnitt der Inspektionsvorrichtung 2 (betrachtet in Längsrichtung derselben) verringert.

Endseitig der Abstützelemente können jeweils Rundungen 50 angeordnet sein, die eine Innenseite der zu inspizierenden Rohrleitung möglichst schonend berühren. Darüber hinaus können endseitig der einzelnen Abstützelemente 42 Odometer 52

angeordnet sein, um eine Position der Inspektionsvorrichtung 2 in der Rohrleitung besser bestimmen zu können.

Innerhalb des Zentralkörpers 22, der modulartig mit mehreren Abschnitten aufgebaut
5 sein kann, ist eine zentral zur Längsachse 24 um diese herum gewickelte erste Erregerspule 6 einer ersten Erregereinheit 4 angeordnet. Diese befindet sich bezogen auf die Längsachse bzw. Längsmittelachse 24 auf Höhe der vorderen Abstützelemente. Eine weitere, zweite Erregerspule 10 ist am hinteren Ende der Inspektionsvorrichtung 2, ungefähr auf Höhe der hinteren Abstützelemente 42, angeordnet.

10

Eine Außenwand 54 des Zentralkörpers 22 ist vorzugsweise aus einem nicht magnetisierbaren Material, insbesondere aus einem Kunststoff-Composite-Material gefertigt.

15 Mittig zwischen beiden Erregerspulen 6 und 10 ist eine Sensorspule 14 eines Magnetfeldsensors 12, ebenfalls wiederum symmetrisch um die Längsachse 24 herum angeordnet. Diese nimmt Messdaten auf Basis des resultierenden Magnetfelds auf, welche hinsichtlich der Größe und/oder Phase ausgewertet werden.

20 Im Rahmen mehrerer Versuche wurde in einer Rohrleitung für Wasser mit einem Durchmesser $D = 440 \text{ mm}$, die einen innen und außen mit Beton beschichteten Metallzylinder einer Wandstärke von 2 mm aufweist, das in der nachfolgenden Tabelle beschriebene Sensorsetup getestet. In der äußeren Betonschicht ist ein spiralförmig

gewickelter Betonspanndraht in einem Abstand von wenigen Millimetern um den Metallzylinder herum angeordnet. Neben einem zentralen Magnetfeldsensor wurden zwei Erregerspulen als Erregereinheiten verwendet:

Parameter	Erregerspule	Magnetfeldsensor
Äußerer Durchmesser	125mm	12mm
Innerer Durchmesser	100mm	5mm
Länge	50mm	20mm
# der Windungen	800	200

5

Die Entfernung zwischen den Erregereinheiten wurde auf maximal 70 cm gesetzt. Zu Kalibrationszwecken wurden andere Abstände $< 2 \cdot D$ durchprobiert. Der Magnetfeldsensor ist fest zwischen den Erregereinheiten angeordnet, allerdings in seiner axialen sowie in der radialen Position variierbar festgelegt.

10

Es wurden drei Testläufe gemacht, in denen die Inspektionsvorrichtung jeweils an einem Bereich mit einer unterschiedlich großen Anzahl an Bruchstellen des vorliegend als Betonspanndraht ausgebildeten Betonspannelements vorbeigeführt wurde. Die zugehörigen Messergebnisse und Auswertungen sind in den Fig. 12 bis 14 dargestellt. Die gestrichelte Linie der Figuren 12 bis 14 stammt aus einem Setup mit drei Drahtbrüchen im Betonspannelement, die durchgezogene Linie aus einem Setup mit sechs Drahtbrüchen und die strichpunktierte Linie aus einem Setup mit neun Drahtbrüchen. Die Drahtbrüche folgen jeweils unmittelbar aufeinander.

15

Die aufgenommene Amplitude des Signals (Fig. 14) weist im Bereich der Brüche erkennbare Extrema auf. In Fig. 12 ist der Imaginärteil des ausgewerteten Signals abgebildet, der genauso wie der Realteil des ausgewerteten Signals (Fig. 13) die vorbeschriebene Form mit einem auf ein erstes Extrema folgenden weiteren Extrema

5 aufweist. Diese Ergebnisse weisen unabhängig voneinander für verschiedene Anzahlen von Drahtbrüchen charakteristische und gleiche Verläufe auf, die gut detektierbar sind.

Ansprüche

1. Verfahren zur Inspektion eines metallischen Betonspannelementes (34) einer
5 insbesondere wasserführenden Rohrleitung (26), wobei
mit wenigstens einer vorzugsweise eine erste Erregerspule (6) umfassenden ersten
Erregereinheit (4) einer Inspektionsvorrichtung (2) ein erstes magnetisches Wechsel-
selfeld und
mit wenigstens einer von der ersten Erregereinheit (4) beabstandeten, vorzugsweise
10 eine zweite Erregerspule (10) umfassenden zweiten Erregereinheit (8) der Inspekti-
onsvorrichtung (2) ein zweites magnetisches Wechselfeld erzeugt wird, wobei das
erste und zweite Magnetfeld entgegengesetzte Richtungen aufweisen, und wobei
während einer Bewegung der Inspektionsvorrichtung (2) entlang des Betonspann-
elementes (34) an wenigstens einer Position zwischen der ersten und der zweiten
15 Erregereinheit (4,8) mittels wenigstens eines vorzugsweise eine Sensorspule (14)
aufweisenden Magnetfeldsensors (12) der Inspektionsvorrichtung (2) auf Basis des
resultierenden Magnetfelds Messdaten aufgenommen werden, die hinsichtlich der
Größe und/oder Phase des resultierenden Magnetfelds ausgewertet werden.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass von den Erre-
gereinheiten (4,8) Magnetfelder erzeugt werden, deren Amplituden sich um nicht
mehr als 10%, bevorzugt um nicht mehr als 5% unterscheiden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die mit entgegengesetzten Richtungen versehenen magnetischen Wechselfelder axial ausgerichtet sind.

5 4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Defekt des Betonspannelements (34) auf Basis zweier einander folgender insbesondere unterschiedlicher Extrema der Amplitude und/oder Phase des resultierenden Feldes detektiert wird.

10 5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messdaten vom Magnetfeldsensor (12) mittig zwischen den Erregereinheiten aufgenommen werden.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
15 dass die Wechselfelder gleichzeitig und/oder nacheinander mit verschiedenen Frequenzen erzeugt werden.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregereinheiten (4,8) in Längsrichtung der Inspektionsvorrichtung (2) hintereinander und insbesondere symmetrisch um die Längsmittelachse (24) herum angeordnet sind und ein magnetisches Wechselfeld vollumfänglich erzeugt wird.
20

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das resultierende Magnetfeld in der Rohrleitungsmitte gemessen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das resultierende Magnetfeld mit einem außerhalb der Rohrleitungsmitte angeordneten Sensor gemessen wird.

5

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 mit mehreren Magnetfeldsensoren, dadurch gekennzeichnet, dass mittels zumindest eines Teils der Magnetfeldsensoren (12) an mehreren in Längsrichtung der Inspektionsvorrichtung (2) hintereinander befindlichen Positionen das resultierende Magnetfeld aufgenommen wird.

10

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten desjenigen Magnetfeldsensors (12) ausgewertet werden, bei dem das zumindest ungefähre Gleichgewicht zwischen den von den Erregereinheiten (4,8) erzeugten Wechselfeldern für eine Auswertung am besten geeignet ist.

15

12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche mit mehreren Magnetfeldsensoren (12), dadurch gekennzeichnet, dass mittels zumindest mehrerer in radialer Richtung versetzt zueinander angeordneter Magnetfeldsensoren jeweils das resultierende Magnetfeld messen.

20

13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die von den Erregereinheiten (4,8) erzeugten Wechselfelder mittels zweier Abschirmelemente (20) in Richtung des zumindest einen Magnetfeldsensors (12) abgeschwächt werden.

14. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
dass nacheinander magnetische Wechselfelder unterschiedlicher Frequenz erzeugt
5 und die sich hieraus ergebenden Messdaten von dem zumindest einen Magnetfeld-
sensor (12) aufgenommen werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass in der Datenaus-
wertung ein Störsignal durch Subtraktion der skalierten Amplitudenwerte von den
10 Phasenwerten reduziert wird.

16. Inspektionsvorrichtung zur Inspektion eines metallischen Betonspannelemen-
tes (34) einer insbesondere wasserführenden Rohrleitung (26), mit wenigstens einer
vorzugsweise eine erste Erregerspule (6) umfassenden ersten Erregereinheit (4) zur
15 Erzeugung eines ersten magnetischen Wechselfeldes und mit wenigstens einer von
der ersten Erregereinheit (4) beabstandeten vorzugsweise eine zweite Erregerspule
(10) umfassenden zweiten Erregereinheit (8) zur Erzeugung eines zweiten magneti-
schen Wechselfeldes, wobei die Erregereinheiten (4,8) dergestalt ausgebildet und
ansteuerbar sind, dass das erste und zweite Magnetfeld entgegengesetzte Richtun-
20 gen aufweisen, und mit wenigstens einem zwischen der ersten und der zweiten Er-
regereinheit (4,8) angeordneten Magnetfeldsensor (12) zur Aufnahme eines resultie-
renden Magnetfelds.

17. Inspektionsvorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass sie als autarke Inspektionsvorrichtung (2) und insbesondere zur Verwendung bei einem Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 1 bis 15 ausgebildet ist.

5 18. Inspektionsvorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Magnetfeldsensor (12) zwischen den in Längsrichtung voneinander beabstandeten Erregereinheiten (4,8) angeordnet ist.

10 19. Inspektionsvorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Inspektionsvorrichtung (2) zur Bewegung in einer Rohrleitung (26) eines Durchmessers D ausgebildet ist und der Abstand der Erregereinheiten (4,8) kleiner $2 \cdot D$ und insbesondere kleiner $1,5 \cdot D$ ist.

15 20. Inspektionsvorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Magnetfeldsensor (12) in Längsrichtung betrachtet mittig angeordnet ist.

20 21. Inspektionsvorrichtung nach Anspruch 20 mit mehreren Magnetfeldsensoren, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich in Längsrichtung und/oder in radialer Richtung versetzt Magnetfeldsensoren (12) zwischen den Erregereinheiten (4,8) angeordnet sind.

22. Inspektionsvorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von Magnetsensoren (12) um eine Längsmittelachse (24) herum angeordnet ist.
- 5 23. Inspektionsvorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand der Erregereinheiten (4,8) variabel einstellbar ist.

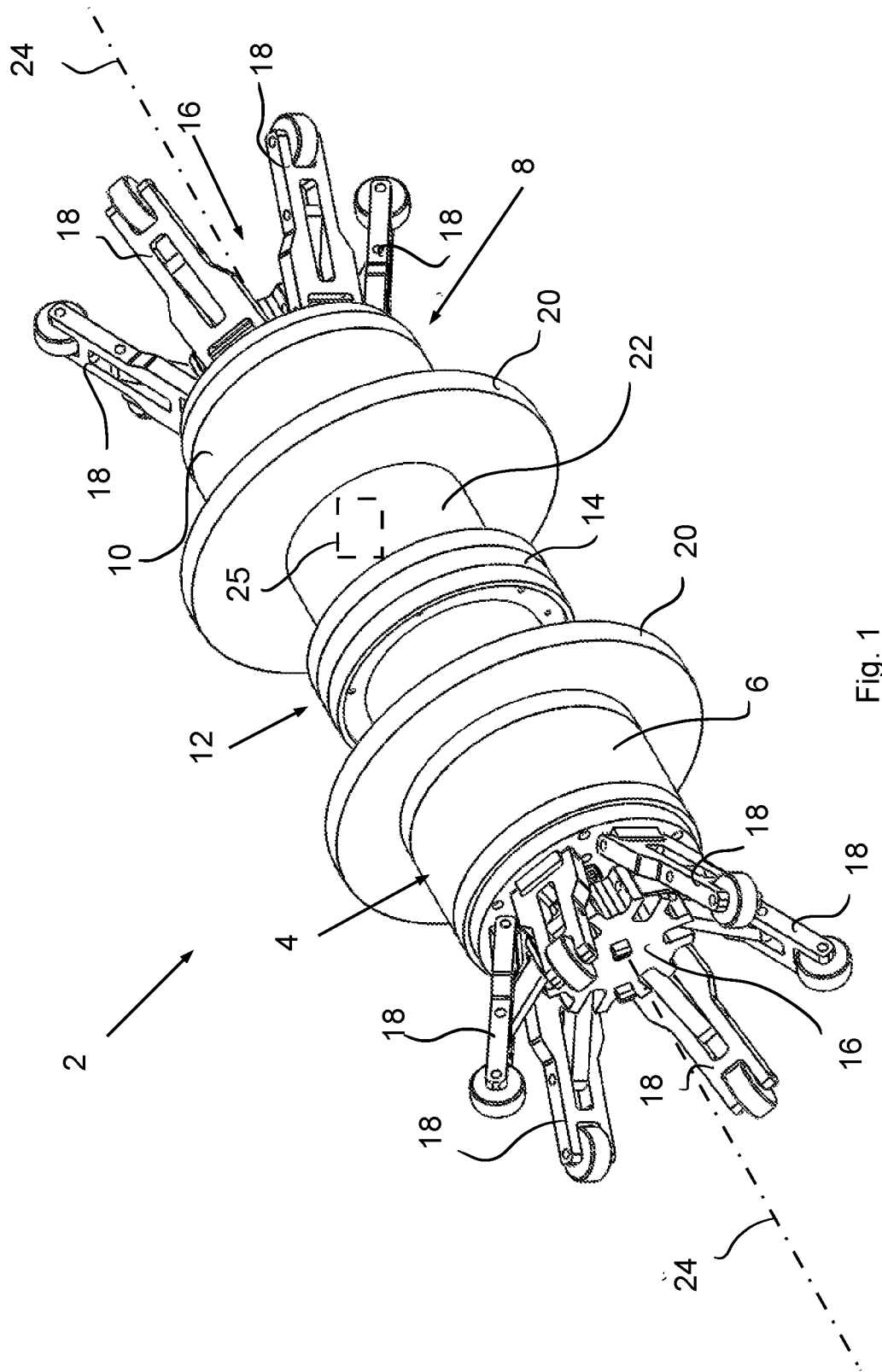


Fig. 1

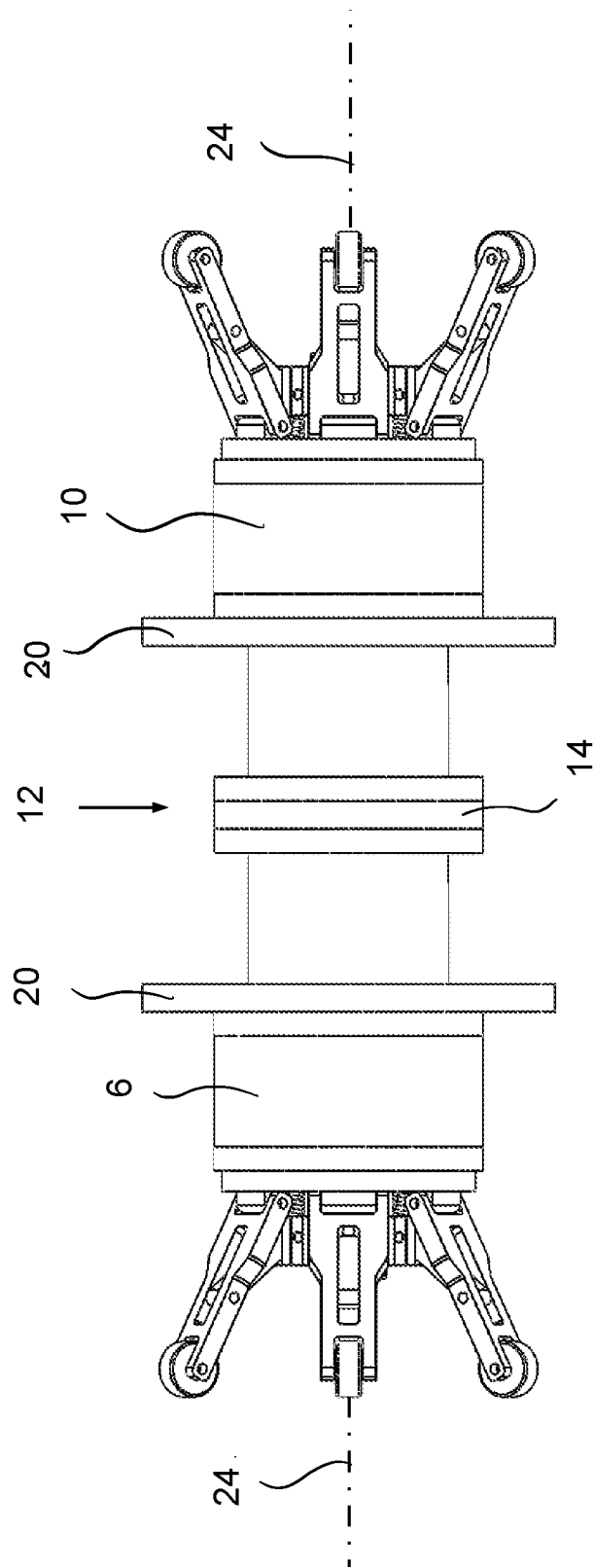


Fig. 2

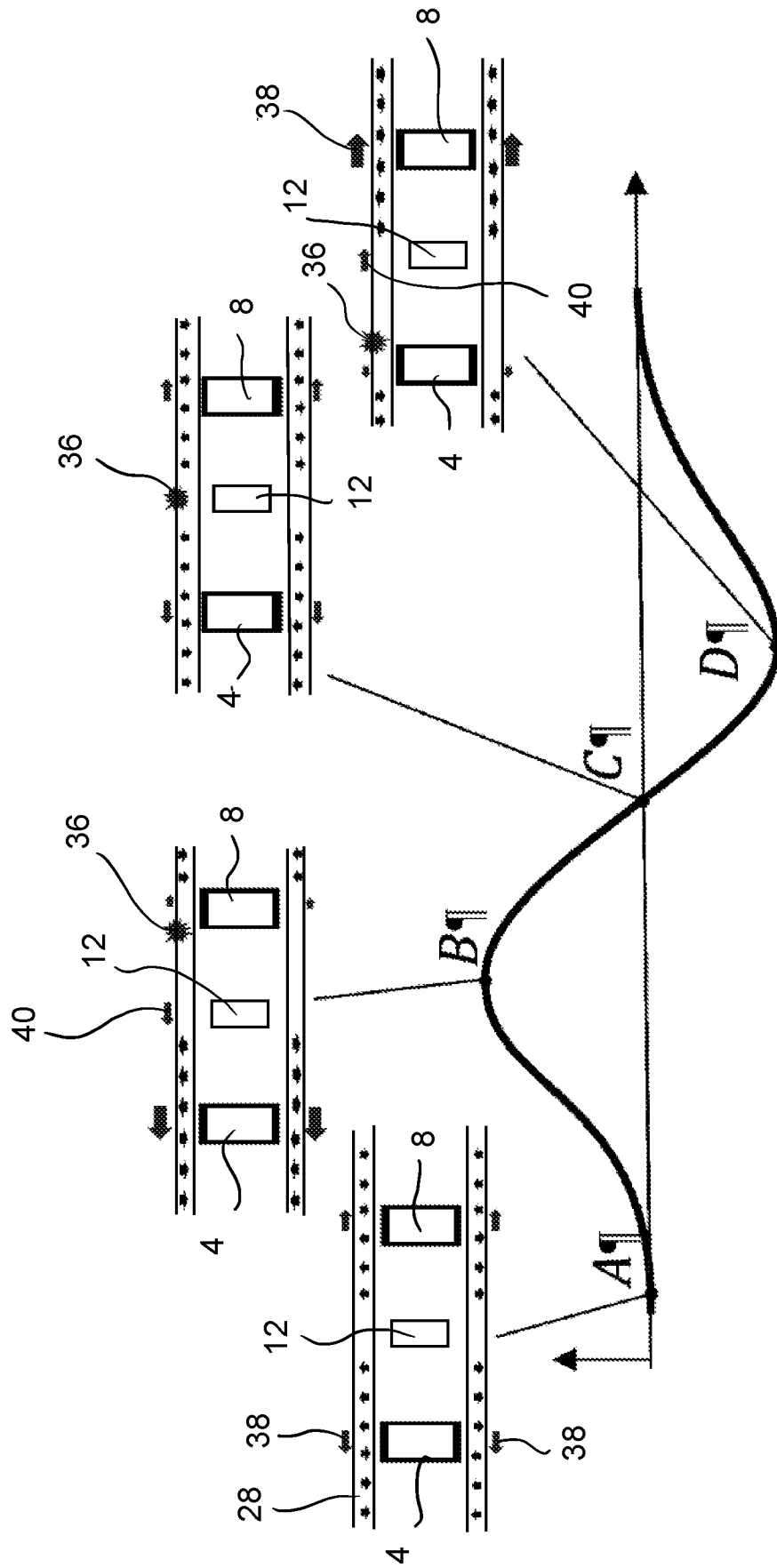


Fig. 4

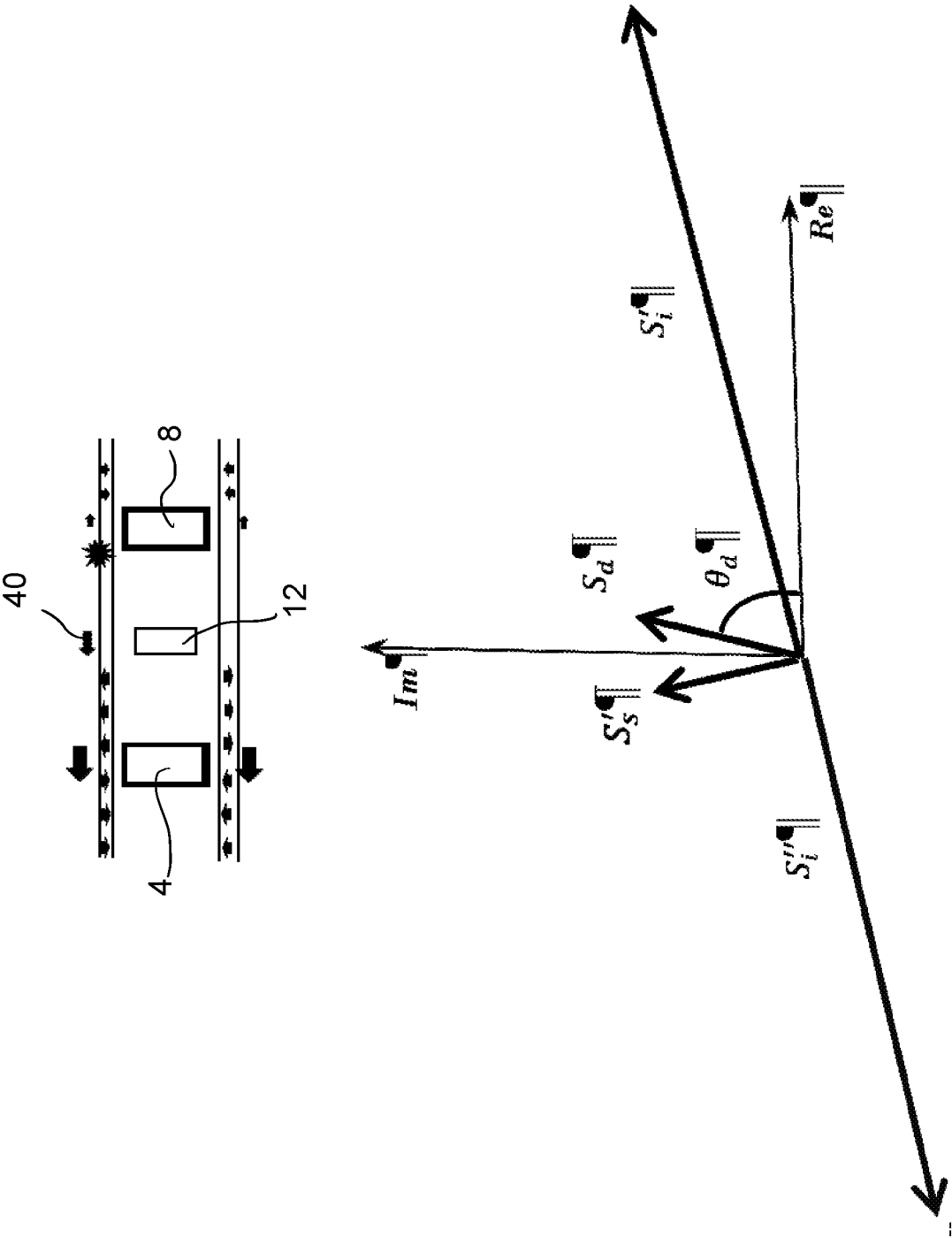


Fig. 5

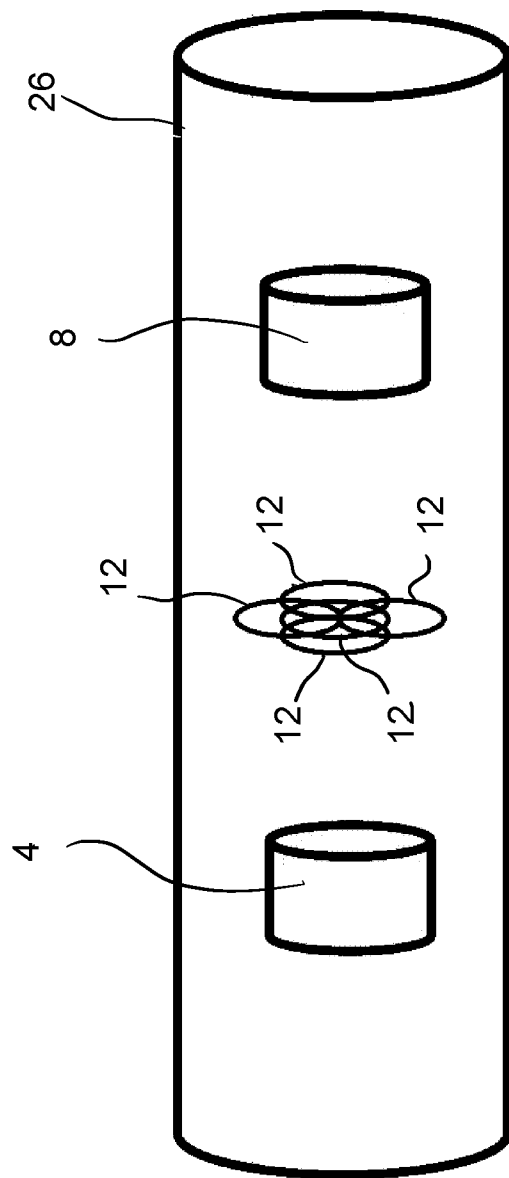


Fig. 6

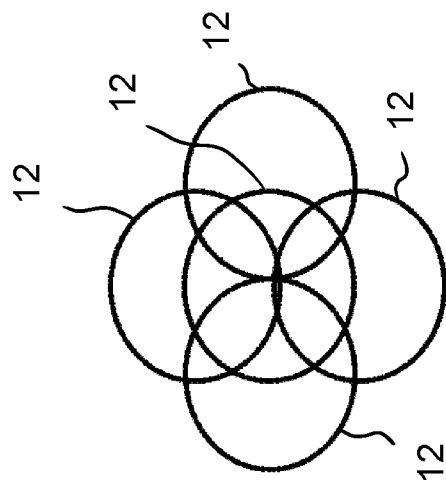


Fig. 7

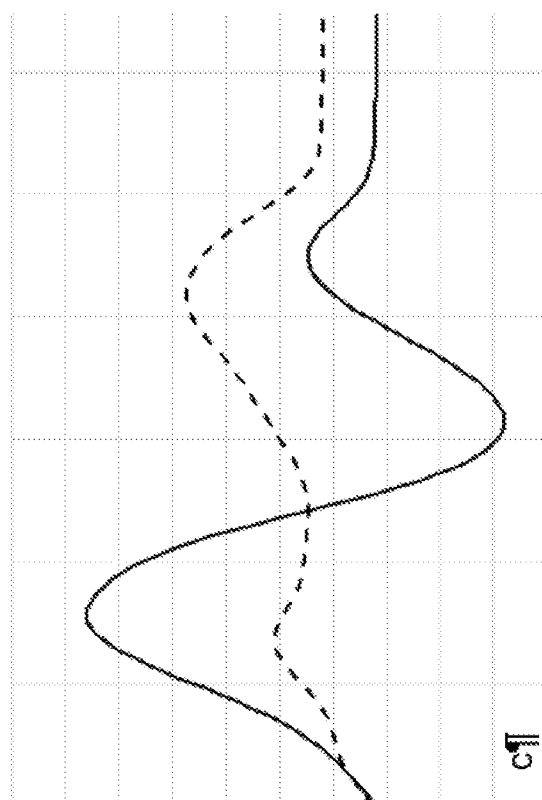
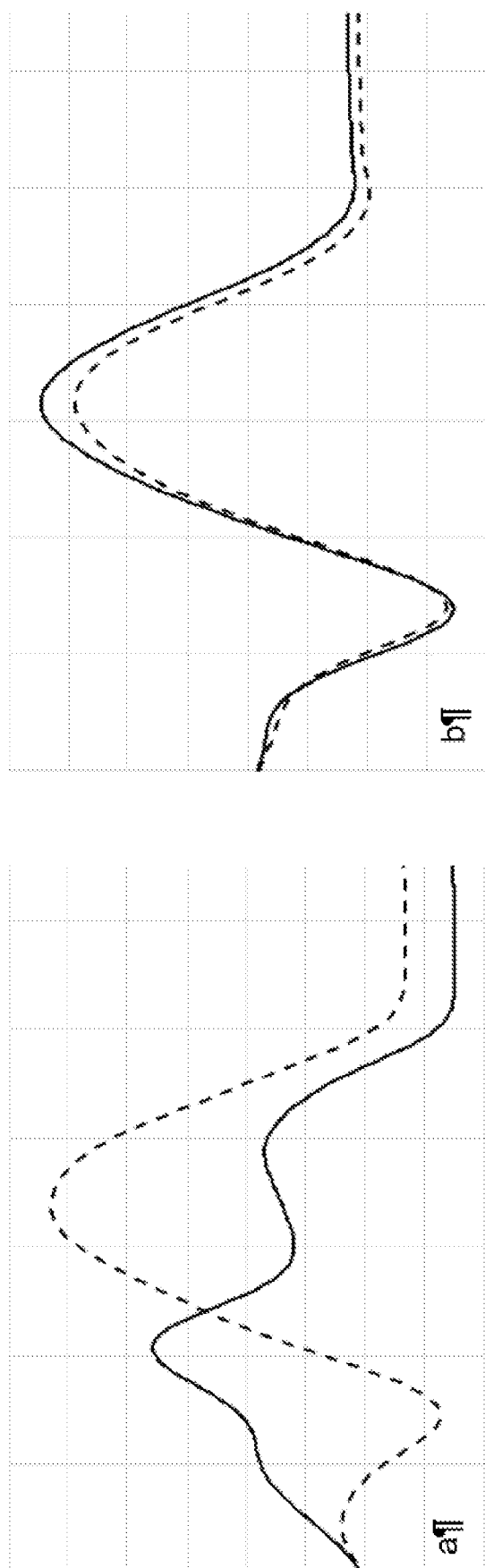


Fig. 8

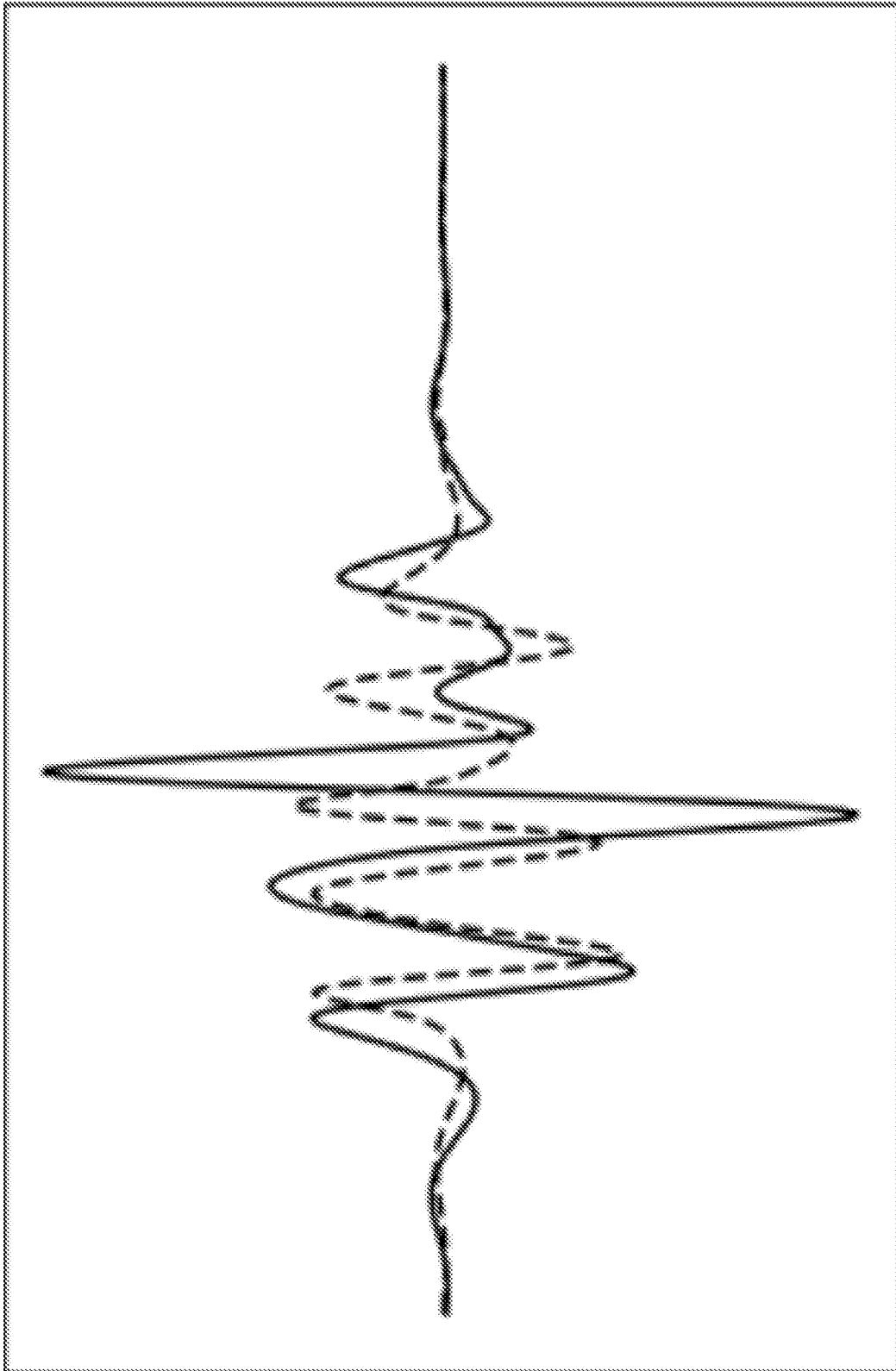


Fig. 9

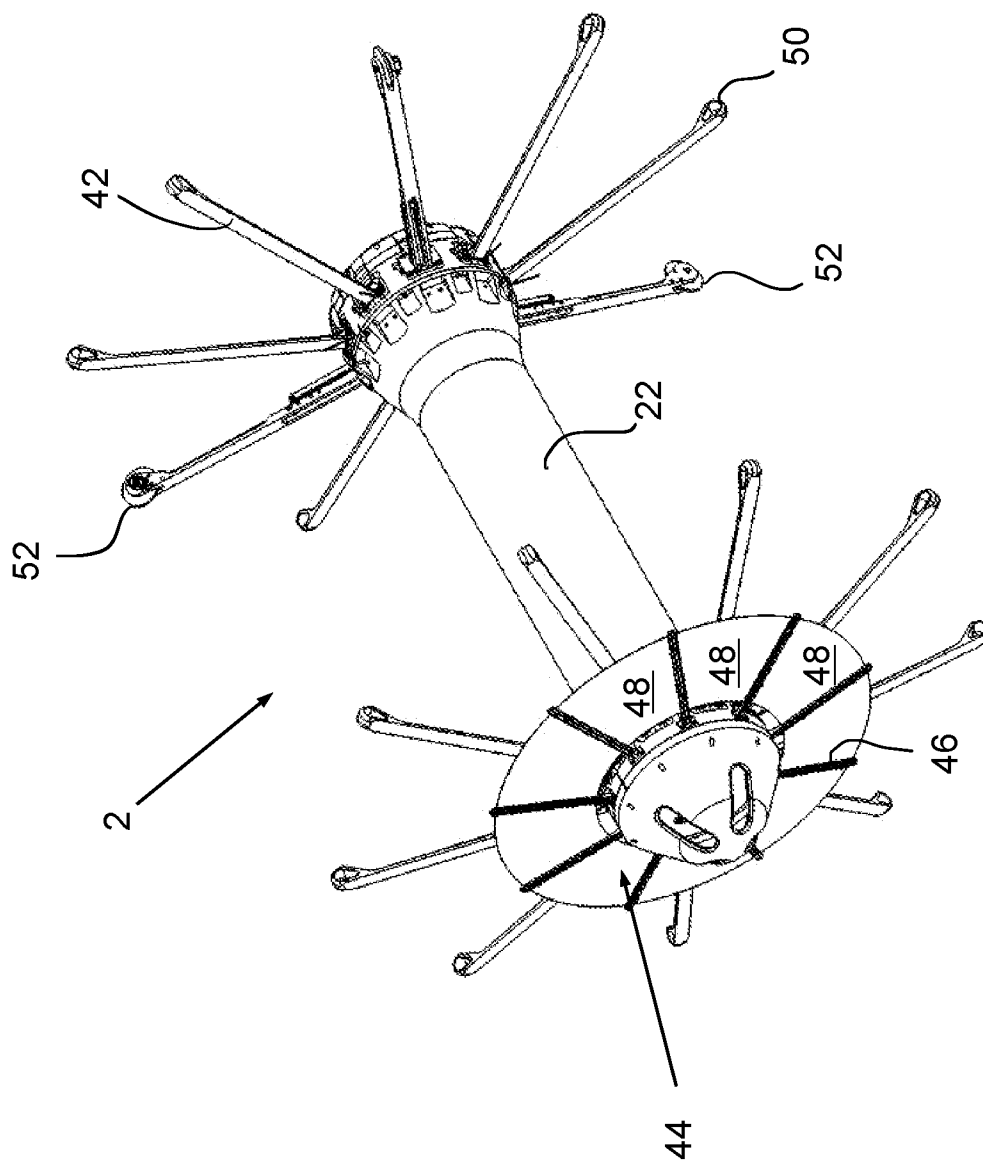


Fig. 10

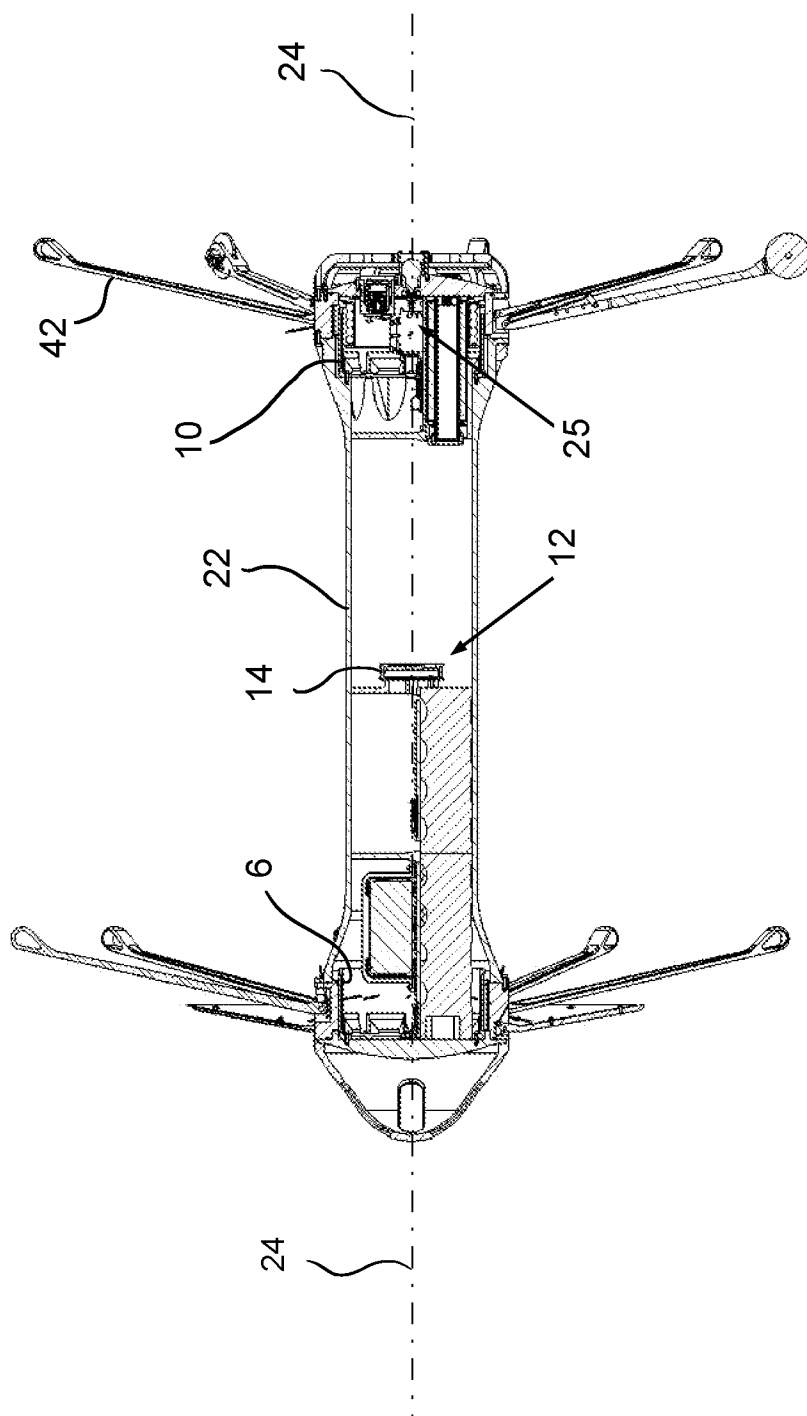


Fig. 11

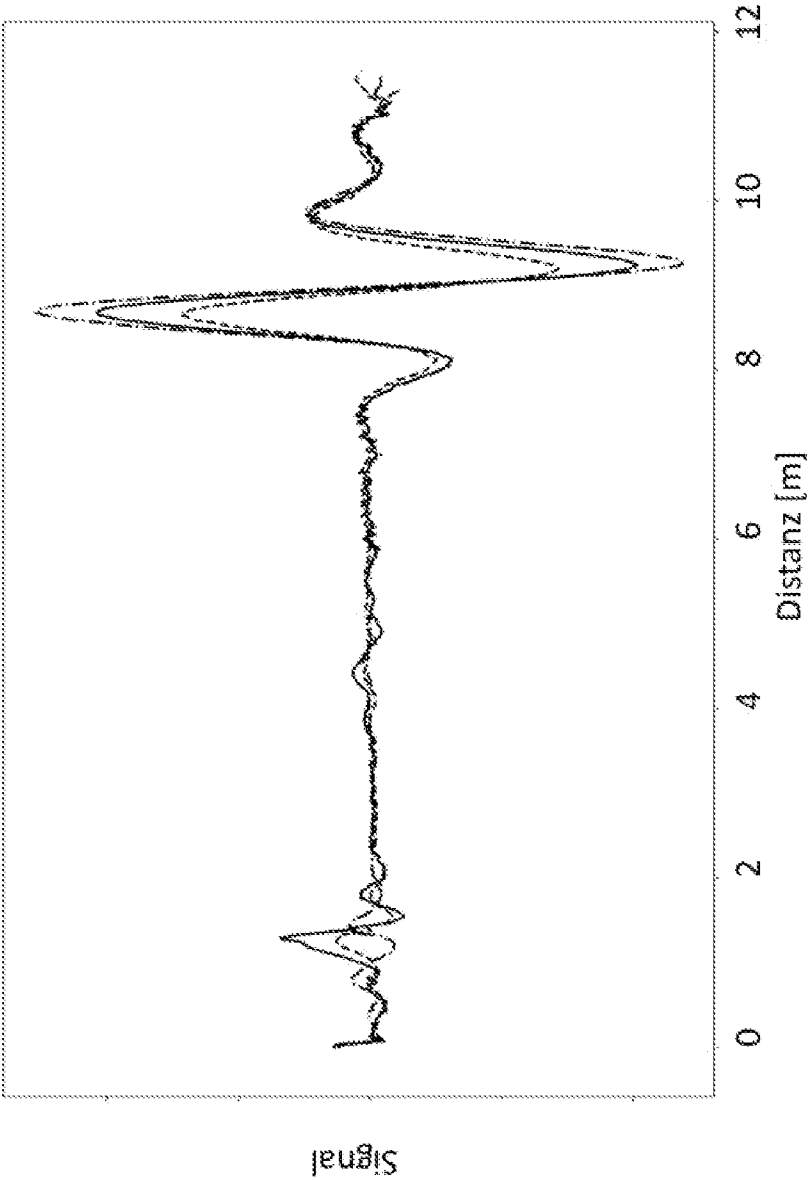


Fig. 12

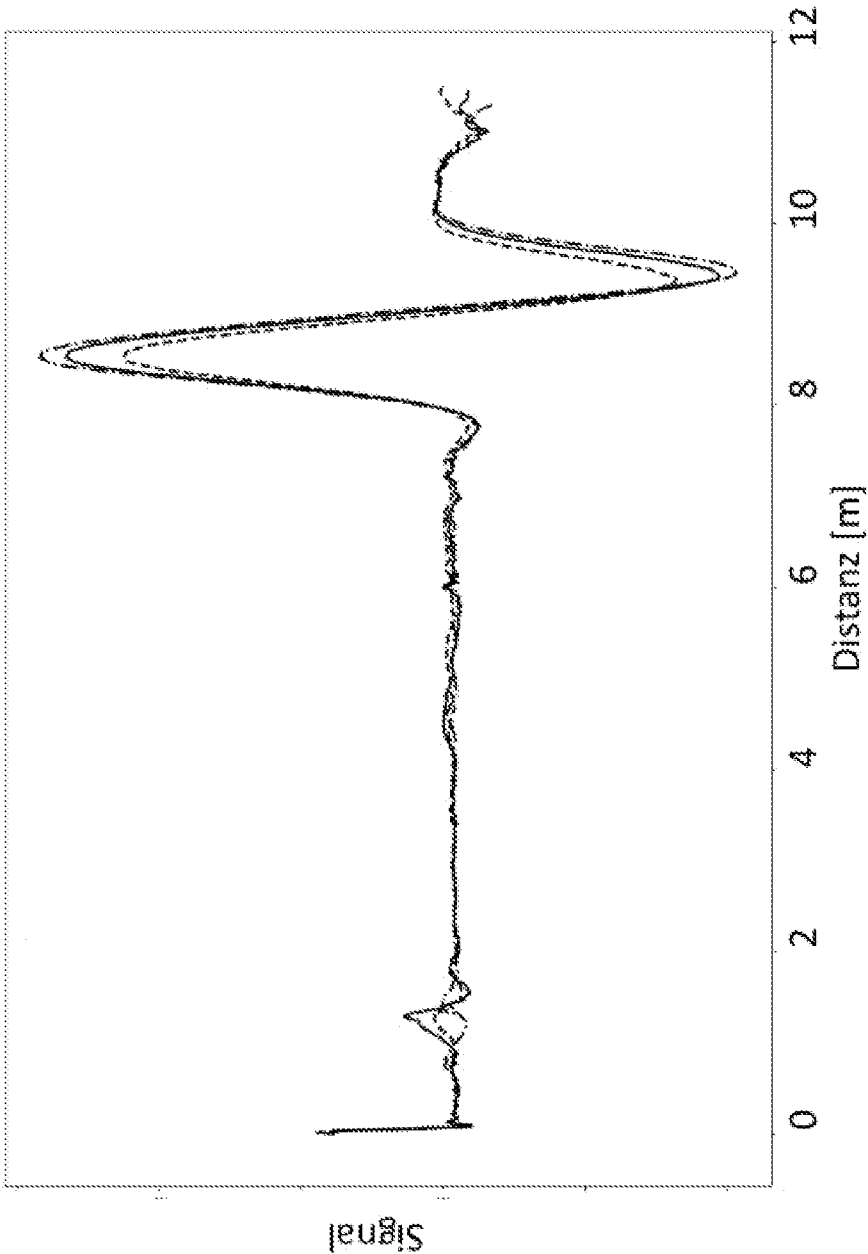


Fig. 13

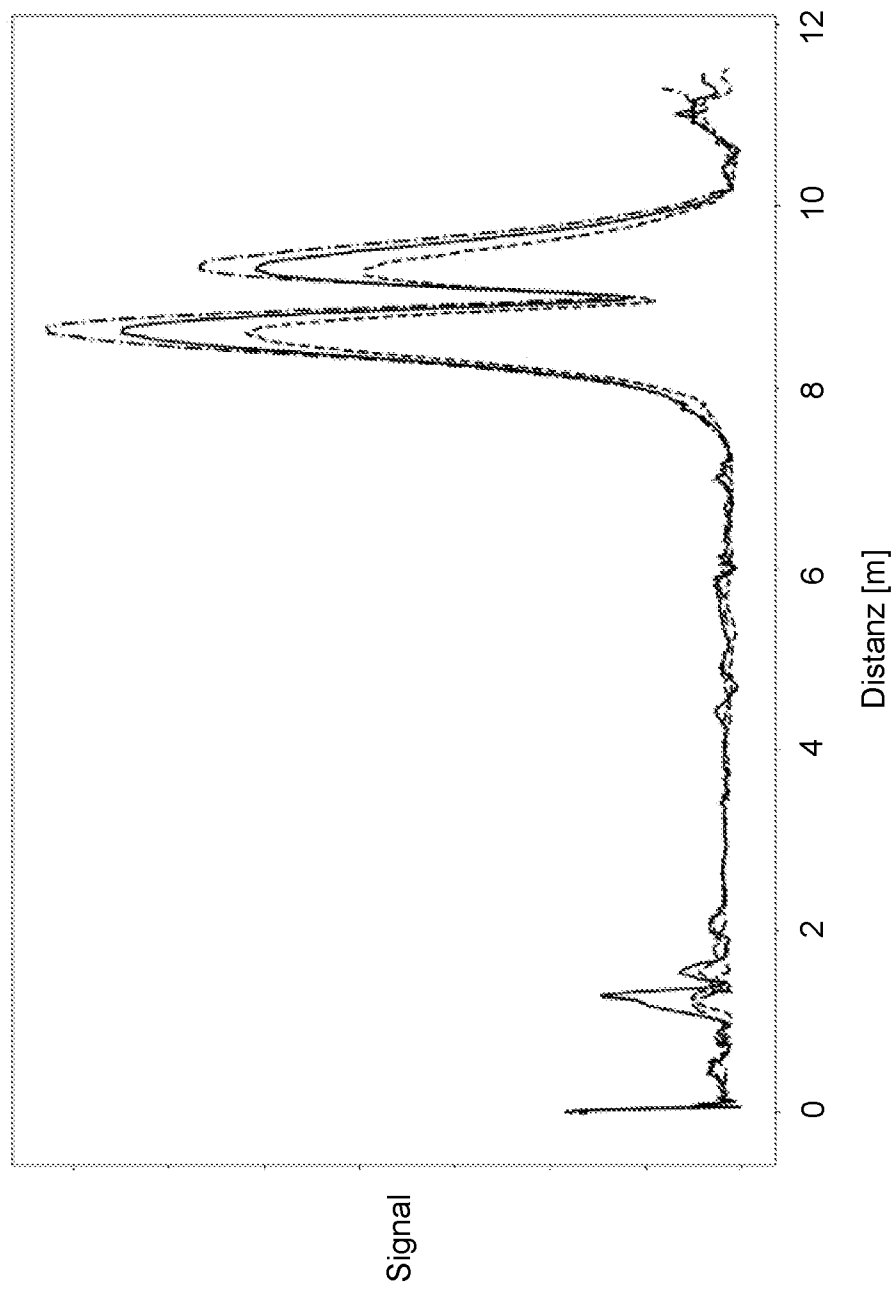


Fig. 14

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

RECHERCHENBERICHT INTERNATIONALER ART NACH ARTIKEL XI.23.,

§10 DES BELGISCHEN WIRTSCHAFTSGESETZBUCHES

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG	AKTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS
	522086/ST
Nationales Aktenzeichen	Anmeldedatum
202305189	15-03-2023
Anmeldeland	Beanspruchtes Prioritätsdatum
Anmelder (Name)	
Rosen IP AG	
Datum des Antrags auf eine Recherche Internationaler Art	Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche internationaler Art zugeteilt hat
25-03-2023	SN83526
I. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (treffen mehrere Klassifikationssymbole zu, so sind alle anzugeben)	
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC	
Siehe Recherchenbericht	
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE	
Recherchierter Mindestprüfstoff	
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole
IPC	Siehe Recherchenbericht
Recherchierte, nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen	
III. ☐ EINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RECHERCHIERBAR ERWIESEN	
(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)	
IV. ☐ MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG	
(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)	

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

BE 202305189

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01N27/82 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01N		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CN 114 894 884 A (CHINA INST WATER RESOURCES & HYDROPOWER RES)	1-5, 7, 9, 13, 16-20
Y	12. August 2022 (2022-08-12)	
Y	* Abbildungen 1, 2 *	6, 8,
A	* Absätze [0024], [0025], [0026], [0027], [0028], [0035], [0036], [0037], [0047], [0048], [0053], [0054], [0055], [0063] *	10-12, 14 15
X	US 2017/115426 A1 (SAN MARTIN LUIS EMILIO [US] ET AL) 27. April 2017 (2017-04-27)	16, 18, 20-23
Y	* Abbildungen 1, 2, 4A, 4B, 5D *	8, 10-12
A	* Absätze [0014], [0015], [0025] *	15
X	US 2013/024135 A1 (BLUM DIETER W [CA]) 24. Januar 2013 (2013-01-24)	16, 18, 20
A	* Abbildung 1 *	15
	* Absätze [0041] - [0043] *	
	----- -/-	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art 15. September 2023		Absendedatum des Berichts über die Recherche internationaler Art
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Kratz, Dorothee

C.(Fortsetzung). ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2004/189289 A1 (ATHERTON DAVID L [CA])	6, 14
	30. September 2004 (2004-09-30)	
A	* Abbildungen 2, 3 *	15
	* Absätze [0036], [0037] *	

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Nr. des Antrags auf Recherche

BE 202305189

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 114894884	A	12-08-2022	KEINE
US 2017115426	A1	27-04-2017	BR 112017000332 A2
			07-11-2017
		EP 3149519 A1	05-04-2017
		MX 365338 B	30-05-2019
		US 2017115426 A1	27-04-2017
		WO 2016010917 A1	21-01-2016
US 2013024135	A1	24-01-2013	US 2013024135 A1
			24-01-2013
		WO 2013014533 A2	31-01-2013
US 2004189289	A1	30-09-2004	US 2004189289 A1
			30-09-2004
		WO 2004086026 A2	07-10-2004



SCHRIFTLICHER BESCHEID

Dossier Nr. SN83526	Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 15.03.2023	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)	Anmeldung Nr. BE202305189
Internationale Patentklassifikation (IPK) INV. G01N27/82			
Anmelder Rosen IP 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

Formblatt BE237A (Deckblatt) (Juli 2022)	Prüfer Kratz, Dorothee
--	---------------------------

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 6, 8, 10-15 Nein: Ansprüche 1-5, 7, 9, 16-23
Erfinderische Tätigkeit	Ja: Ansprüche 15 Nein: Ansprüche 1-14, 16-23
Gewerbliche Anwendbarkeit	Ja: Ansprüche: 1-23 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

1 **Zu Punkt VIII**

Bestimmte Bemerkungen zur Anmeldung

- 1.1 Die axiale Richtung in **Anspruch 3** ist nicht definiert. Es ist nicht klar zu was die Felder axial ausgerichtet sein sollen.
- 1.2 Aus **Anspruch 7** geht nicht klar hervor welche Längsmittelachse (Rohrleitung, Inspektionsvorrichtung) gemeint ist.
- 1.3 Der **Anspruch 11** entspricht nicht dem Erfordernis der Klarheit, da der Gegenstand des Schutzbegehrens nicht klar definiert ist. In dem Anspruch wird versucht, den Gegenstand durch das zu erreichende Ergebnis zu definieren ("*...dass die Daten desjenigen Magnetfeldsensors ausgewertet werden, bei dem das...Gleichgewicht...für eine Auswertung am besten ist*"); damit wird aber lediglich die zu lösende Aufgabe angegeben, ohne die für die Erzielung dieses Ergebnisses notwendigen technischen Merkmale zu nennen.
- 1.4 **Anspruch 15** ist unklar, da der vorliegende Anspruch 1 zur Zeit für das letzte Merkmal den Wortlaut "*Größe und/oder Phase des resultierenden Magnetfeldes*" verwendet. Anspruch 15 beschreibt im Gegensatz dazu Amplitude und Phase. Es scheint als würden die Begriffe Größe und Amplitude synonym verwendet, die Ansprüche sollten allerdings konsistent sein.
 - 1.4.1 Es sollte auch beachtet werden, dass in Anspruch 1 Amplituden- und/oder Phasenwerte gemessen werden. Soll allerdings das Verfahren nach Anspruch 15 durchgeführt werden, müssen zwingend Amplituden- und Phasenwerte gemessen werden.
 - 1.4.2 Ferner ist in Anspruch 15 nicht klar, auf was die Amplitudenwerte skaliert sind. Amplitude und Phase haben prinzipiell unterschiedliche Einheiten, weshalb eine Subtraktion mathematisch/physikalisch inkorrekt erscheint. In der Beschreibung auf Seite 32 in Verbindung mit Abbildung 9 wird erklärt, dass eine Skalierung auf den intakten Rohrleitungsabschnitten erfolgt, so dass die Amplituden (=Peakhöhen) der Phasen- und Amplituden-Funktionen gleich sind. Dies wird so verstanden, dass lediglich eine numerische Subtraktion erfolgt, ungeachtet der Einheiten. Falls erwogen wird, die Merkmale von Anspruch 15 in den unabhängigen Anspruch aufzunehmen, scheint das Merkmal der Skalierung und wie sie durchgeführt wird erfindungswesentlich zu sein.
 - 1.4.3 Weiter hat "*die Datenauswertung*" keine Basis in den vorhergehenden Ansprüchen, auf die sich Anspruch 15 bezieht.

2 **Zu Punkt V**

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

2.1 Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

D1 CN 114 894 884 A*

D2 US 2017/115426 A1

D3 US 2013/024135 A1

D4 US 2004/189289 A1

* Für die vorliegende Beurteilung der Patentierbarkeit wurde eine nicht rechtsverbindliche maschinelle Übersetzung verwendet, um den Inhalt des chinesischen Stands der Technik zu interpretieren.

2.2 **Unabhängiger Anspruch 1**

2.2.1 Der Gegenstand von Anspruch 1 ist nicht neu. **D1** offenbart ein

Verfahren zur Inspektion eines metallischen Betonspannelementes einer insbesondere wasserführenden Rohrleitung ([0024], PCCP, *prestressed concrete cylinder pipelines*), wobei mit wenigstens einer vorzugsweise eine erste Erregerspule umfassenden ersten Erregereinheit einer Inspektionsvorrichtung ein erstes magnetisches Wechselfeld und mit wenigstens einer von der ersten Erregereinheit beabstandeten, vorzugsweise eine zweite Erregerspule umfassenden zweiten Erregereinheit der Inspektionsvorrichtung ein zweites magnetisches Wechselfeld erzeugt wird (Abbildungen 1 und 2, [0025], [0026]), wobei das erste und zweite Magnetfeld entgegengesetzte Richtungen aufweisen ([0055] Spulen werden mit Strom gleicher Frequenz und Phasenverschiebung von 180° gespeist), und wobei während einer Bewegung der Inspektionsvorrichtung entlang des Betonspannelementes an wenigstens einer Position zwischen der ersten und der zweiten Erregereinheit mittels wenigstens eines vorzugsweise eine Sensorspule aufweisenden Magnetfeldsensors der Inspektionsvorrichtung auf Basis des

resultierenden Magnetfelds Messdaten aufgenommen werden ([0027]), die hinsichtlich der Größe und/oder Phase des resultierenden Magnetfelds ausgewertet werden ([0028]).

2.3 Unabhängiger Anspruch 16

Der Gegenstand von Anspruch 16 ist nicht neu. **D1** offenbart eine bewegliche Inspektionsvorrichtung zum untersuchen von PCCPs. Die Argumentation gilt *mutatis mutandis* wie für Anspruch 1.

Weiter werden magnetische Inspektionsvorrichtungen mit zwei Spulen, die ein entgegengesetztes Magnetfeld erzeugen und einen Magnetfeldsensor beinhalten in **D2** und **D3** offenbart (**D2**: [0014], [0015], [0025], Abbildung 5D; **D3**: [0041]-[0043], Abbildung 1). Dort wird zwar nicht explizit auf die Verwendung zum Untersuchen von Betonspannelementen wasserführender Rohrleitungen verwiesen, allerdings wird der Einsatz in Rohrleitungen beschrieben. Die zitierten Vorrichtungen sind daher mindestens geeignet, um Betonspannelemente wasserführender Rohrleitungen zu untersuchen und sind daher neuheitsschädlich.

2.4 Abhängige Ansprüche

- 2.4.1 **Anspruch 2:** nicht neu. **D1** offenbart in [0055], dass die Spulen mit der gleichen Frequenz gespeist werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich auch um die gleiche Amplitude handelt. Ferner werden in **D2** entgegengesetzte Felder beschrieben, die sich mittig zwischen den Spulen aufheben ([0025], Abbildung 5D).
- 2.4.2 **Anspruch 3:** nicht neu. Die Spulen in **D1** sind axial ausgerichtet (**D1**: Abbildungen 1a und 1b). Gleiches gilt für **D2** und **D3** (**D2**: Abbildung 5D, **D3**: Abbildung 1).
- 2.4.3 **Anspruch 4:** nicht neu. Eine bimodale Verteilung, die als Indikator für einen Defekt dient, wird in **D1** offenbart ([0035]).
- 2.4.4 **Ansprüche 5, 18 und 20:** nicht neu. Die Magnetfeldsensoren in **D1**, **D2** und **D3** sind mittig ausgerichtet (**D1**: Abbildungen 1a und 1b, **D2**: Abbildung 5D, **D3**: Abbildung 1).
- 2.4.5 **Ansprüche 6 und 14:** nicht erfinderisch. Die Untersuchung mittels verschiedener Frequenzen ist in einem ähnlichen Verfahren zur Inspektion einer Röhre mit nur einer Erregerspule in **D4** offenbart ([0036], [0037], Abbildungen 2

- und 3). Der technische Effekt der von der Untersuchung mittels mehrerer Frequenzen ausgeht, ist dass tatsächliche Signale besser auszulesen sind (**D4**: [0037]). Das zu lösende Problem ist daher das Signal-zu-Rausch Verhältnis zu verbessern. Da der Fachmann generell dazu veranlasst ist, dass Signal-zu-Rausch Verhältnis seiner Messungen zu verbessern, wäre es für den Fachmann offensichtlich, die Lehre von **D4** auf das Verfahren von **D1** anzuwenden und so zu Anspruch 6 bzw. Anspruch 14 zu gelangen.
- 2.4.6 **Anspruch 7**: nicht neu. **D1-D3** offenbaren, dass die Erregereinheiten in Längsrichtung hintereinander angeordnet sind (**D1**: Abbildungen 1 und 2; **D2**: Abbildungen 1 und 2, 5D; **D3**: Abbildung 1). Eine symmetrische Ausrichtung um die Längsachse der Röhre ist in **D2** offenbart (Abbildungen 4A, 4B).
- 2.4.7 **Anspruch 8**: nicht erfinderisch. Der Magnetfeldsensor in **D2** ist in der Rohrleitungsmittte angeordnet (Abbildungen 4A, 4B). Die stellt für den Fachmann eine offensichtliche Alternative zu der nicht-mittigen Anordnung in **D1** dar.
- 2.4.8 **Anspruch 9**: nicht neu. Der Magnetfeldsensor in **D1** ist nicht in der Rohrleitungsmittte angeordnet (Abbildungen 1 und 2).
- 2.4.9 **Anspruch 10**: nicht erfinderisch. Mehrere Magnetfeldsensoren in einem Array sind in **D2** offenbart. Ausgehend von **D1** wäre es für den Fachmann eine offensichtliche Alternative die Magnetfeldsensoren wie in **D2** anzuordnen, wenn mehrere Magnetfeldsensoren verwendet werden sollen.
- 2.4.10 **Anspruch 11**: nicht erfinderisch. Es ist davon auszugehen, dass lediglich die Daten der Sensoren aus dem Array aus **D2** ausgewertet werden, die sinnvolle Ergebnisse liefern (siehe Klarheitseinwand unter Punkt 1.3 oben).
- 2.4.11 **Ansprüche 12, 21 und 22**: nicht erfinderisch (Anspruch 12), nicht neu (Ansprüche 21 und 22). **D2** offenbart ein Array von Magnetfeldsensoren ([0024], [0025], Abbildung 5D).
- 2.4.12 **Anspruch 13**: nicht erfinderisch. Verschiedene Formen der Abschirmung sind in **D1** offenbart ([0053]). Es wäre für den Fachmann daher offensichtlich zwei Abschirmelemente wie in Anspruch 13 zu verwenden.
- 2.4.13 **Anspruch 15**: Der Gegenstand von Anspruch 15 wird im zitierten Stand der Technik nicht offenbart (siehe auch Klarheitseinwände unter Punkt 1.4 oben).
- 2.4.14 **Anspruch 17**: nicht neu. Die Vorrichtung in **D1** ist als autarke Vorrichtung ausgebildet, indem sie eine Batterie mit sich führt ([0063]).

- 2.4.15 **Anspruch 19:** nicht neu. Die Vorrichtung in **D1** ist zum Bewegen in der PCCP ausgebildet ([0047], [0048]) und die beiden Erregerspulen haben einen Abstand von $2L$, wobei L kleiner als der Durchmesser D der PCCP ist ($L < D$ [0054]).
- 2.4.16 **Anspruch 23:** nicht neu. Der Abstand der beiden Erregereinheiten in **D2** ist variabel (Abbildungen 2, 3 und 4).

3 **Zu Punkt VII**

Bestimmte Mängel in der Anmeldung

- 3.1 In der Beschreibung werden weder der in **D1-D4** offenbarte einschlägige Stand der Technik noch die Dokumente selbst angegeben.
- 3.2 Die unabhängigen Ansprüche 1 und 16 sind 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.