

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Oktober 2009 (08.10.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/121903 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 29/26 (2006.01) B06B 1/06 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01) G10K 11/34 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/053865

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. April 2009 (01.04.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 016 843.2 1. April 2008 (01.04.2008) DE
10 2008 002 394.9 12. Juni 2008 (12.06.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **GE SENSING & INSPECTION TECHNOLOGIES GMBH** [DE/DE]; Robert-Bosch-Straße 3, 50354 Hürth (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BUSCHKE, Paul** [DE/DE]; Am Bruch 3, 50354 Hürth (DE). **KLEINERT, Wolf-Dietrich** [DE/DE]; Von-Kügelgen-Str. 24, 53125 Bonn (DE).

(74) Anwälte: **VORBERG, Jens et al.**; Lindenallee 43, 50968 Köln (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

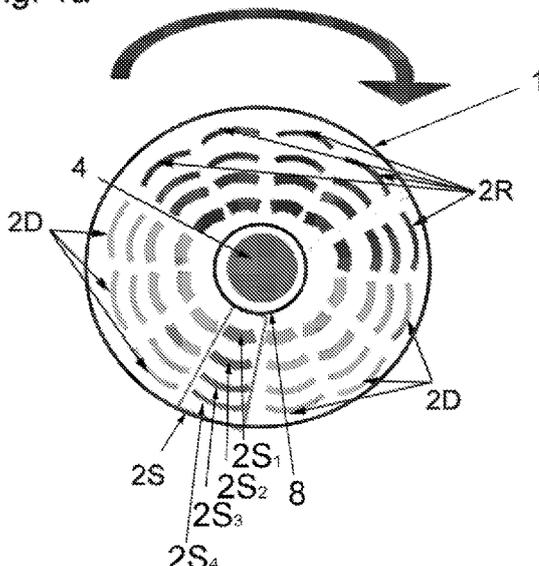
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: UNIVERSAL TEST HEAD FOR NON-DESTRUCTIVE ULTRASOUND INVESTIGATION AND ASSOCIATED METHOD

(54) Bezeichnung: UNIVERSELLER PRÜFKOPF ZUR ZERSTÖRUNGSFREIEN ULTRASCHALLUNTERSUCHUNG UND ZUGEHÖRIGES VERFAHREN

Fig. 1a



(57) Abstract: The invention relates to a test head (1) for the non-destructive ultrasound investigation of an anomaly, in particular a welding melt zone, of a workpiece, comprising an array (2S, 2D, 2R) which is integrated in the test head (1) and comprises a plurality of ultrasonic transducers (2S, 2D, 2R) which can be arranged on a surface of the workpiece and can be selectively driven, individually or in segments, as ultrasonic receivers (2S) and ultrasonic transmitters (2R). The test head is distinguished by the fact that the array (2S, 2D, 2R) is of essentially annular design and the ultrasonic transducers (2S, 2D, 2R) are arranged and/or driven in such a manner that the respective ultrasound produced propagates parallel to the surface of the workpiece. The invention also relates to two associated methods for the non-destructive ultrasound investigation of an anomaly, in particular a welding melt zone, of a workpiece.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Prüfkopf (1) zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung einer Anomalie, insbesondere einer Schweißschmelzzone, eines Werkstücks, umfassend ein in den Prüfkopf

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/121903 A1



-
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(1) integriertes Array (2S, 2D, 2R) aus mehreren, auf einer Oberfläche des Werkstücks anzuordnenden Ultraschallwandlern (2S, 2D, 2R), die einzeln oder segmentweise als Ultraschallempfänger (2S) und Ultraschallsender (2R) selektiv ansteuerbar sind. Der Prüfkopf zeichnet sich dadurch aus, dass das Array (2S, 2D, 2R) im Wesentlichen ringförmig ausgebildet ist und die Ultraschallwandler (2S, 2D, 2R) so angeordnet und/oder angesteuert werden, dass der jeweils erzeugte Ultraschall sich parallel zur Werkstückoberfläche ausbreitet. Die Erfindung betrifft ferner zwei zugehörige Verfahren zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung einer Anomalie, insbesondere einer Schweißschmelzzone, eines Werkstücks.

Bezeichnung: Universeller Prüfkopf zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung und zugehöriges Verfahren

Die Erfindung bezieht sich auf einen universell zu verwendenden Prüfkopf zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung, der die Möglichkeit zur schnellen Durchführung unterschiedlicher Ultraschalluntersuchungen, beispielsweise u.a. einer tomographischen Untersuchung, bietet, um beispielsweise eine Anomalie oder insbesondere eine Schmelzzone, die von einer Schweißverbindungen herührt, in einem Werkstück zu erfassen, zu vermessen und/oder darzustellen.

Für die zerstörungsfreie Prüfung eines Werkstücks mittels Ultraschall sind geeignete Prüfgeräte und Verfahren bekannt. Ganz allgemein verwiesen wird auf das Fachbuch von J. und H. Krautkrämer, Werkstoffprüfung mit Ultraschall, sechste Auflage.

Mit der so genannten akustischen Mikroskopie (auch Ultraschallmikroskopie genannt) ist eine zerstörungsfreie Untersuchungsmethode bekannt, die es ermöglicht „das Innere“ eines Werkstücks abzubilden. Ultraschallwellen dringen in das zu untersuchende Werkstück ein und aus der reflektierten Schallintensität wird ein Bild generiert. Defekte wie z. B. Poren oder Delaminationen etc. erzeugen starke Reflexionssignale, so dass Werkstückanomalien, d.h. Fehler, Inhomogenitäten und auch Schweißverbindungsfehler, schnell und zuverlässig bestimmt werden können. Jedoch ist die dafür benötigte Ausrüstung teuer, häufig nicht portabel und die Bildaufbereitung benötigt vergleichsweise lange, so dass sich dieses Verfahren zur industriellen Produktionsüberwachung i.a nicht eignet.

Es ist ferner bekannt, einen Winkelprüfkopf an einem Prüfbereich des Werkstücks mechanisch vorbeizuführen. Dabei werden hochfrequente Schallimpulse (ca. 1-10 MHz) abgegeben, die in das zu prüfende Werkstück eingeschallt werden. Diese dringen in das Werkstück ein, wo sie an einer Rückwand des Werkstücks mindestens einmal reflektiert werden. An inneren Anomalien (auch Inhomogenitäten genannt) wie zum Beispiel an einem Materialfehler, treten Schallreflexionen auf, die vom Winkelprüfkopf wieder empfangen und im nachgeschalteten Ultraschallgerät verarbeitet werden. Es wird im einfachsten Fall nach dem Impuls-Echoverfahren gearbeitet. Der Winkelprüfkopf bzw. allgemein ein Sender gibt vorzugsweise periodisch Ultraschallimpulse ab und ein Empfänger empfängt danach Echosignale dieser abgegebenen Ultraschallimpulse. Die Echosignale stam-

men aus dem Werkstück und insbesondere von der Rückwand des Werkstücks. Insoweit ist das Prüfungsverfahren für Werkstücke geeignet, deren Ankoppelfläche im Wesentlichen parallel zur Rückwand verläuft, so dass es zur Ausbildung mehrerer Hin- und Hergänge des Ultraschallimpulses im Werkstück kommt. Bei der Überprüfung von Schweißnähten wird der Winkelprüfkopf entlang der Schweißnaht (d.h. i.d.R. senkrecht und parallel zur Schweißnaht) bewegt, bis ein maximales Fehlerecho entsteht. Die empfangenen Echosignale werden dabei unmittelbar auf einem Monitor dargestellt („A-Scan“). Die Position und damit die Ortung eines Fehlers im Prüfkörper wird auf Basis der bekannten und gemessenen Daten errechnet. Die Echoamplitude wird für eine Abschätzung der Fehlergröße herangezogen. Dies ist jedoch häufig nicht zuverlässig möglich, da die Echoamplitude wesentlich mehr Einflüssen unterworfen ist als die Schallaufzeit. So beschreibt die DE 102 59 658 ein Verfahren, mit dem die Darstellung eines Fehlers, der mit Hilfe eines Winkelprüfkopfes ermittelt wurde, auf einem Display verbessert wird. Dabei wird in zwei Verfahrensschritten aus zwei Richtungen in den Prüfkörper eingeschallt. Mit Hilfe der Vergleichskörpermethode wird ein ermittelter Fehler direkt maßstäblich jeweils in Querschnittsbildern dargestellt, die optisch sozusagen übereinander gelegt werden. Diese Art der Erfassung kann für Fehler, wie z.B. Inhomogenitäten im zu untersuchenden Material ausreichen. Sie reicht nicht aus, um eine Schweißverbindung umfassend, d.h. möglichst allseitig zu erfassen. Eine umfassende allseitige Erfassung der Schweißverbindung kann insbesondere bei sicherheitsrelevanten Komponenten, wie Fahrzeugkomponenten, Rohleitungen oder Kesseln erforderlich sein.

Ein ähnliches Verfahren ist aus der DE 1 980 3615 **B4** bekannt, bei dem zur Ermöglichung einer Fehlergrößenbestimmung und Fehlerartklassierung mindestens zwei unterschiedliche geführte Wellen (Moden) mit mindestens je einem spezifizierten Winkel im Festkörper erzeugt werden, die gemessenen Reflexionswerte in Bezug zu einem Referenzecho gesetzt werden, um einen relativen Reflexionswert zu erhalten und die relativen Reflexionswerte der einzelnen Moden in Relation zueinander gesetzt werden. Hierdurch kann sich die in ihrer Größe und Art bestimmen. Bei den vorgenannten Verfahren ist eine aufwendige Positionierung, gegebenenfalls auch Umpositionierung, der Winkelprüfkopf erforderlich.

In der Veröffentlichung mit dem Titel „Spot weld analysis with 2D ultrasonic array“ von A.A Denisov, C.M. Shakarji, B.B. Lawford, R.Gr. Maev, J.M. Paille in J.

Res. Natl. Inst. Stand. Technol. Band 109 Nr.2 2004; Seiten 233-244 wird ein Verfahren zur Untersuchung einer Punktverschweißung mittels Ultraschall vorgeschlagen, bei dem mittels eines zweidimensionalen, stationären Arrays aus Ultraschallsendern und –Empfängern der an das Array angrenzende Bereich des Werkstücks bei nahezu senkrechter Einstrahlung von Ultraschall und einer sich dadurch zur Werkstückoberfläche senkrechten Ausbreitungsrichtung des Ultraschalls abgescannt wird. Hierbei ergibt sich die Problematik, dass in den meisten Fällen durch die Punktverschweißung die Oberfläche des Werkstücks in dem durch die Verschweißung betroffenen Bereich deformiert ist, und somit eine Ankopplung zwischen dem jeweiligen Ultraschallsender bzw. Empfänger nur schwer erfolgt.

Zur Lösung dieses zuvor beschriebenen Problems wird in der EP 1 801 576 A1 vorgeschlagen, ein Array von Ultraschallsendern und –Empfängern in dem den Schmelzzonenbereich der Verschweißung umgebenden Bereich des Werkstücks anzuordnen, um darin Plattenwellen anzuregen, die wenigstens teilweise die Schmelzzone durchdringen. Die bei der Durchschallung gemessenen Amplituden werden zur Analyse des Schmelzzonendurchmessers herangezogen. Aus der US 0,625,016,3 B1 ist eine ähnliche Anordnung offenbart, wobei das Sender- und das Empfänger-Array in EMAT-Technologie aufgebaut sind.

In der Veröffentlichung mit dem Titel „Guided-wave tomographic imaging of defects in pipe using a probabilistic reconstruction algorithm“ von J. K. Van Velsor, H. Gao, J. L. Rose in Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring; Band: 49, Ausgabe: 9, Seiten: 532 – 537 wird die Untersuchung von Rohren hinsichtlich Materialfehlern mittels geführter Ultraschallwellen, die durch eine kreisförmige Anordnung von separaten Ultraschallwandlern als Prüfköpfe erzeugt und empfangen werden, beschrieben. Dabei wird zur tomographischen Bildrekonstruktion der sogenannte „RAPID“-Algorithmus verwendet. Der gezeigte Aufbau aus den mehreren Ultraschallwandlern ist aufwendig und die Untersuchung zeitintensiv, sie eignet sich daher nur für die industrielle Untersuchung von Anomalien und insbesondere von Schweißschmelzzonen in einem Werkstück.

Hier setzt nun die vorliegende Erfindung an. Sie hat es sich zur Aufgabe gemacht, einen Prüfkopf zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung einer Anomalie, insbesondere einer Schweißschmelzzone, eines Werkstücks bereitzustellen.

len, der schnell und für diverse Verfahren einsetzbar ist und der sich insbesondere für die Verwendung in einem industriellen Fertigungsprozess eignet. Diese Aufgabe wird durch einen Prüfkopf gemäß Anspruch 1 gelöst. Ein zugehöriges und entsprechend vorteilhaftes Verfahren ist Gegenstand der Ansprüche 8 und 11. Die abhängigen Ansprüche betreffen jeweils vorteilhafte Ausgestaltungen.

Der erfindungsgemäße Prüfkopf eignet sich zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung einer Anomalie, insbesondere einer Schweißschmelzzone, eines Werkstücks. Folglich ist der Begriff Anomalie im Kontext der vorliegenden Erfindung weit auszulegen. Im Allgemeinen ist beabsichtigt, eine unerwünschte Strukturabweichung (auch als Anomalie oder Fehler bezeichnet) innerhalb des Werkstücks anhand von deren Auswirkung auf das akustische Übertragungsverhalten zu erfassen. Der Prüfkopf umfasst ein in den Prüfkopf integriertes Array aus mehreren, auf einer Oberfläche des Werkstücks anzuordnenden Ultraschallwandlern. Integration im Sinne der Erfindung meint, dass beim Platzieren des Prüfkopfs auf der Oberfläche des zu untersuchenden Werkstücks gleichzeitig sämtliche Ultraschallwandler darauf angeordnet werden und somit keine abfolgende Anordnung und Ausrichtung von einzelnen Ultraschallwandlern, beispielsweise Piezowandlern, erforderlich ist. Durch die gleichzeitige und gemeinsame Anordnung und Platzierung der Wandler, d.h. des Arrays, wird eine schnelle Anordnung des Prüfkopfs auf dem Werkstück erreicht, was die Untersuchung beschleunigt und somit diesen für die Anwendung im industriellen Maßstab geeignet macht.

Die Wandler sind einzeln oder segmentweise, d.h. in Gruppen aus wenigen Wandlern, als Ultraschallempfänger und Ultraschallsender selektiv ansteuerbar. Durch die selektive Aktivierungs- oder Ansteuermöglichkeit ist eine Verschiebung des jeweiligen Senders entbehrlich, sondern für die Realisierung unterschiedlicher Hauptabstrahlrichtungen des Ultraschalls ist lediglich die Aktivierung oder Ansteuerung eines anderen Wandlers bzw. Segments erforderlich. Die Durchführung des jeweiligen Verfahrens wird beschleunigt und die Messgenauigkeit gesteigert.

Das Array ist erfindungsgemäß im Wesentlichen ringförmig ausgebildet. Der Begriff ringförmig ist dabei weit auszulegen. So ist keine spaltfreie oder angrenzend benachbarte Anordnung zwischen den einzelnen Wandlern zwingend vorausge-

setzt. Die Wandler sind beispielsweise auf einem Kreisumfang verteilt oder sind auf einem ringförmigen durch einen äußeren oder inneren Kreisdurchmesser definierten, Kreissegment verteilt.

Die Wandler werden erfindungsgemäß so angeordnet und/oder angesteuert, dass der jeweils erzeugte Ultraschall sich im Wesentlichen parallel zur Werkstückoberfläche und somit parallel zu der durch den Ring definierten „Kreis“fläche ausbreitet. Dadurch wird vorteilhaft eine zu dem zu untersuchenden Bereich des Werkstücks versetzte Anordnung des Prüfkopfs erreicht. Hierdurch eignet sich der Prüfkopf für die Untersuchung von Anomalien, bei denen die zur Anomalie unmittelbar benachbarte Oberfläche (die senkrechte Projektion der durch die Anomalie umfassten Fläche auf die zu untersuchende Oberfläche) des Werkstücks nicht zugänglich ist oder die Ankoppelung der jeweiligen Wandler in diesem Bereich beispielsweise wegen Unebenheiten nur schwer möglich oder sogar unmöglich ist. Dies ist beispielsweise bei Verschweißungen der Fall, bei denen sich die Schmelzzone auf der Oberfläche des Werkstücks befindet. Bei Punktverschweißungen kann durch die Einwirkung der Schweißelektroden eine Deformierung der Oberfläche vorliegen, die eine Ankopplung in diesem Bereich und damit eine Ultraschalluntersuchung erschwert.

Die erfindungsgemäße Ausbreitungsrichtung wird beispielsweise durch eine schräge Ausrichtung der Schallabstrahlfläche des jeweiligen Wandlers erreicht, d.h. dessen Hauptabstrahlrichtung ist zur Werkstückoberfläche geneigt. Beispielsweise können durch diese Einstrahlung in einem flachen Werkstück Oberflächenwellen und - je nach dessen Abmessung - in dessen zur Oberfläche senkrechten Dickenrichtung Plattenwellen (engl.: Lamb-Wellen) erzeugt werden. Ist die Wellenlänge des Ultraschalls in einer Dimension vergleichbar oder groß zu den Abmessungen des Werkstücks, stehen Teile der Grenzfläche ständig in Wechselwirkung mit der Welle und verursachen so eine Führung der Welle entlang dieser Grenzfläche. Dadurch wirkt das Werkstück als Wellenleiter. Diese Wellen breiten sich aufgrund ihrer geringen Dämpfung vergleichsweise weit aus und eignen sich somit besonders für die Ultraschalluntersuchung, insbesondere bei der Durchschallungsmessung der Anomalie (beziehungsweise der Schweißschmelzzone).

Bevorzugt sind die Wandler so ausgestaltet und/oder werden so angesteuert, dass der jeweils abgestrahlte Ultraschall in Richtung des jeweils gegenüberliegenden Randes des ringförmigen Randes abgestrahlt wird. Anders ausgedrückt erfolgt eine Abstrahlung in einer im Wesentlichen radial nach innen gerichteten Richtung des Ringes. Dabei wird nicht vorausgesetzt, dass der Ultraschall zwingend den gegenüberliegenden Rand tatsächlich erreicht. So soll nicht ausgeschlossen sein, dass der so abgestrahlte Ultraschall von der Anomalie reflektiert wird, und auch der erfindungsgemäße Prüfkopf so verwendet wird, dass der an der Anomalie reflektierte Ultraschall in einer Reflexionsmessung von empfangenden Wandlern, die zu dem sendenden Wandler benachbart oder mit diesem identisch sind, erfasst wird und die so erhaltenen Reflexionssignale ausgewertet werden. Auch eine solche Messkonstellation kann leicht durch den erfindungsgemäßen Prüfkopf realisiert werden.

Der Prüfkopf weist in einer bevorzugten Ausgestaltung einen im Wesentlich zentrisch angeordneten Durchbruch für die Zugänglichkeit des Werkstücks auf. Bevorzugt ist der Durchbruch konzentrisch mit dem ringförmigen Array angeordnet. Dies ermöglicht, dass sich der Prüfkopf während einer maschinellen Bearbeitung, beispielsweise einer Schweißbearbeitung, des Werkstücks bereits an der Messposition befindet, und deren Qualität unmittelbar nach oder während der Bearbeitung überprüft werden kann. Gegebenenfalls kann dann gleich nachbearbeitet bzw. nachgeschweißt werden. Dadurch werden die Abläufe beim Herstellungsvorgang und die erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen erheblich beschleunigt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die Ultraschallwandler des Prüfkopfs beziehungsweise des Arrays in EMAT-(electromagnetic acoustic transducer)-Technologie aufgebaut. Durch die Verwendung von elektromagnetisch arbeitenden Ultraschallwandlern, die vergleichsweise temperaturunempfindlich sind, kann der Prüfkopf beziehungsweise das Verfahren auch bei hohen Temperaturen des Werkstücks also auch in unmittelbarer Nähe einer möglicherweise noch nicht abgekühlten Schweißverbindung, Anwendung finden.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Array um ein phasengesteuertes Array. Durch Phasenverschiebung der elektrischen Ansteuersignale der am Erzeugen des Ultraschalls beteiligten Wandler wird eine selektiv einstellbare Fokussierung

und/oder Ausrichtung des Ultraschalls ermöglicht. Beispielsweise wird bei mehreren in Umfangsrichtung gruppierten, als Sender fungierenden Wandlern ein in Umfangsrichtung phasenverschobenes Ansteuersignal verwendet. Durch die Phasensteuerung kann das Array beziehungsweise der Prüfkopf schnell an unterschiedliche Bemaßungen des zu untersuchenden Werkstücks eingestellt werden, ohne dass es einer konstruktiven Veränderung am Prüfkopf, beispielsweise dessen Einkoppelgeometrie, bedarf.

Aufgrund der Tatsache, dass der erfindungsgemäße Prüfkopf eine beschleunigte Durchführung von diversen Messverfahren gestattet, wird er bevorzugt in einem industriellen Fertigungsprozess, beispielsweise der Automobil-, Luft- oder Raumfahrtindustrie, verwendet. Er eignet sich insbesondere für solche Verfahren, bei denen die Position der zu untersuchenden Anomalie in etwa bekannt ist und es darum geht, eine schnelle und umfassende Untersuchung dieser Anomalie zu gewährleisten. Dies ist insbesondere bei einer Schweißverbindung und insbesondere einer Punktschweißverbindung wichtig, wo eine genaue und allseitige Erfassung der Schweißschmelzzone erwünscht ist. Dadurch werden die Abläufe beim zugehörigen Herstellungsvorgang und die erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen erheblich beschleunigt.

Schließlich betrifft die Erfindung auch eine Anordnung aus einem Werkstück mit einer Schweißschmelzzone und einem an die Oberfläche des Werkstücks angrenzend angeordneten Prüfkopf gemäß einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen, wobei die Schweißschmelzzone im Bereich des Mittelpunkts des ringförmigen Arrays angeordnet ist. Das Werkstück kann aus beliebigem, für Ultraschall durchlässigem und thermisch verschweißbarem Material bestehen. Beispielsweise handelt es sich um verschweißtes Stahlblech und insbesondere punktverschweißtes Stahlblech, wie es beispielsweise bei der Fahrzeugherstellung verwendet wird.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung einer Anomalie, insbesondere einer Schweißschmelzzone, eines Werkstücks, bei dem die qualitative Auswertung und bildliche Darstellung im Vordergrund steht, im Folgenden daher auch kurz tomographisches Verfahren genannt. Es zeichnet sich dadurch aus, dass es unter Verwendung des zuvor beschriebenen Prüfkopfs durchgeführt wird. Dabei wird in mehreren Abtastschritten der von

jeweils einem Wandler oder einem mehrere Wandler umfassenden Segment des Arrays erzeugt und danach durch das Werkstück und wenigstens teilweise durch die Anomalie oder Schweißschmelzzone transmittierte und/oder davon reflektierte Ultraschall mit jeweils unterschiedlicher Hauptausbreitungsrichtung mittels mehrerer, bevorzugt benachbarter, als Empfänger fungierenden Wandler erfasst. Eine daraus jeweils erhaltene Projektion wird durch einen tomographischen Bildgebungsalgorithmus zur Rekonstruktion eines Bildes der Anomalie oder der Schmelzzone verarbeitet. Das so rekonstruierte Bild wird ausgewertet und/oder zur Anzeige gebracht.

Der erfindungsgemäße Prüfkopf eignet sich besonders für dieses Verfahren, dessen Ziel in erster Linie die qualitative, gegebenenfalls aber auch die quantitative Untersuchung der Anomalie oder des Schmelzonenbereichs in dem Werkstück ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst mehrere in Abfolge durchgeführte Abtastschritte, bei denen sich die Hauptausbreitungsrichtung des Ultraschalls in der zur Werkstückoberfläche parallelen Ebene verändert, so dass eine Schallbestrahlung der Anomalie in jeweils anderer Richtung erfolgt. Der so erzeugte und teilweise durch die Schweißverbindung hindurch transmittierende oder auch davon reflektierte Ultraschall wird an mehreren anderen, ebenfalls um die Schweißverbindung angeordneten Positionen mittels mehrerer benachbarter, als Empfänger fungierenden Wandler oder auch Segmente des Prüfkopfs erfasst, um eine Ortsinformation der durch die Wandler gemessenen oder der daraus abgeleiteten Größen zu erhalten.

Durch die selektive Ansteuerbarkeit des erfindungsgemäßen Prüfkopfs kann das Verfahren schnell und einfach durchgeführt werden. Aufgrund der vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Prüfkopfs sind der/die Sender bzw. Empfänger außerhalb des sich durch die senkrechte Projektion der Schmelzzone auf die jeweilige Oberfläche des Werkstücks sich ergebenden Bereichs angeordnet. Dadurch wird erreicht, dass die Ankopplung der Wandler an die Oberfläche des Werkstücks nicht durch eine beispielsweise schweißverbindungsbedingte Verformung der Oberfläche beeinträchtigt wird. In jedem Abtastschritt kann die Ausbreitungsgeschwindigkeit/Laufzeit oder die Amplitude des Ultraschalls bestimmt werden, um jeweils die zugehörige Projektion zu erhalten. Es kann in Durch-

schallungsanordnung oder Reflexionsanordnung gemessen werden. Es kann ein Ultraschallimpuls, eine kontinuierliche Ultraschallabstrahlung oder ein Ultraschall-Sweep verwendet werden.

Die in den Abtastschritten erfassten Signale, d.h. die unterschiedlichen Projektionen werden durch einen tomographischen Bildgebungsalgorithmus verarbeitet, d.h. zur Bildrekonstruktion verwendet, und das erzeugte Bild zur Anzeige gebracht. Geeignete tomographische Bildgebungsalgorithmen sind dem Fachmann bekannt, und es obliegt ihm, beispielsweise, die für den jeweiligen Anwendungsfall geeignete Anzahl von Abtastschritten bzw. Projektionen, beispielsweise je nach gewünschtem Auflösungsvermögen, zu wählen. Vorteilhaft wird das „RAPID“-Verfahren angewandt. Dieses ist in der bereits erwähnten Veröffentlichung „Guided-wave tomographic imaging of defects in pipe using a probabilistic reconstruction algorithm“ von J. K. Van Velsor et al. deren gesamter Offenbarungsgehalt durch Bezugnahme zu dieser Anmeldung hinzugefügt wird.

Bevorzugt werden die Abtastschritte, d.h. die verschiedenen Hauptausbreitungsrichtungen des Ultraschalls in den jeweiligen Abtastschritten, so gewählt, dass eine vollständige umlaufende Erfassung, d.h. eine 360°-Erfassung, der Anomalie oder Schweißschmelzzone, beispielsweise in 31 unterschiedlichen Ausbreitungsrichtungen, durchgeführt wird. Durch die aufgrund des tomographischen Bildgebungsverfahrens mögliche Visualisierung können Anomalien und Fehler der Schweißverbindungen, d.h. Abweichungen von den Sollanforderungen, schnell und umfassend erkannt werden. Beispielsweise lassen sich eine nicht ausreichend ausgebildete Schmelzzone (zu geringer Durchmesser) oder darin eingeschlossene Gaseinschlüsse (Poren) leicht erkennen und lokalisieren.

Der tomographischen Bildgebungsalgorithmus umfasst in einer Ausgestaltung eine Radon-Transformation oder eine Rückprojektion. Bevorzugt kommt eine gefilterte Rückprojektion oder eine gewichtete Rückprojektion mit Shepp Logan-Kern zur Anwendung.

Bevorzugt werden in dem jeweiligen Abtastschritt die Amplitude des transmittierten und/oder reflektierten Ultraschalls und/oder die zugehörigen Laufzeiten erfasst. Beispielsweise wird die Projektion der Transmissionsamplitude, die Projektion des Verhältnisses der Transmissionsamplitude bei unterschiedlichen Fre-

quenzen des Ultraschalls, die Projektion der Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie die Projektion der Pulsechoamplitude erfasst und tomographisch ausgewertet. Ferner können ein oder mehrere zusätzliche Kalibrierschritte vorgesehen sein, die eine oder mehrere Messungen an einem unverschweißten Werkstück beinhalten.

Der Prüfkopf eignet sich zudem für ein Verfahren zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung, bei dem nicht die qualitative Untersuchung der Anomalie oder der Schweißschmelzzone im Vordergrund steht, sondern die Bestimmung von deren Längenausdehnung zumindest in der zur Werkstückoberfläche parallelen Richtung. Insbesondere bei der Punktverschweißung zweier Werkstücke ist das Maß der Ausdehnung dieser Schmelzzone von besonderer Bedeutung, um die Qualität und damit die Festigkeit der Schweißung beurteilen zu können. Bei diesem Verfahren wird in mehreren Abtastschritten der von jeweils einem Wandler oder einem Segment des Arrays erzeugte und danach durch das Werkstück und wenigstens teilweise durch die Anomalie oder Schweißschmelzzone transmittierte Ultraschall, der in jedem Abtastschritt eine andere Hauptausbreitungsrichtung aufweist, mittels eines dem Ultraschall-erzeugenden Wandler oder Segment im Wesentlichen diametral gegenüberliegenden Wandlers oder Segments erfasst. Ein daraus jeweils erhaltener Messwert wird zur Bestimmung der betreffenden Abmessung der Anomalie oder der Schweißschmelzzone ausgewertet. Beispielsweise wird die durch die Anomalie oder Schweißschmelzzone verursachte Laufzeitänderung oder Amplitudenänderung herangezogen, um daraus die Abmessung in der der Hauptausbreitungsrichtung entsprechenden Richtung zu ermitteln. Es obliegt dem Fachmann, die Anzahl der Abtastschritte und die Richtung des Ultraschalls je nach gewünschter Auflösung zu wählen. Der erfindungsgemäße Prüfkopf eignet sich auch besonders für dieses Verfahren, da durch die selektive Ansteuerbarkeit der einzelnen Wandler das Verfahren schnell und einfach durchgeführt werden kann. In der der vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Prüfkopfs sind der/die Sender bzw. Empfänger außerhalb des durch die senkrechte Projektion der Schmelzzone auf die jeweilige Oberfläche des Werkstücks sich ergebenden Bereichs angeordnet. Dadurch wird erreicht, dass die Ankopplung der Wandler an die Oberfläche des Werkstücks nicht durch eine beispielsweise schweißverbindungsbedingte Verformung der Oberfläche beeinträchtigt wird. Das vorstehend beschriebene Verfahren wird in einer beson-

ders bevorzugten Ausgestaltung mit dem zuvor beschriebenen, tomographischen Verfahren in Kombination durchgeführt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung werden mehrere Abtastschritte zeitgleich durchgeführt, um die Durchführung des Verfahrens zu beschleunigen.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verschweißverfahren, wobei nach dem Verschweißen, insbesondere dem Punktverschweißen, wenigstens zweier Werkstücke ein Verfahren zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung gemäß einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen durchgeführt wird.

Die Erfindung betrifft schließlich eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß einer seiner zuvor beschriebenen Ausführungsformen. Die Vorrichtung umfasst den Prüfkopf in einer seiner zuvor beschriebenen Ausführungsformen, um in Abfolge in mehreren Abtastschritten sich in Richtung der Schweißverbindung ausbreitenden Ultraschall mit jeweils anderer Hauptausbreitungsrichtung zu erzeugen und um den zugehörigen reflektierten und/oder transmittierten Ultraschall zu erfassen. Weiterhin umfasst die Vorrichtung eine Auswerteinheit, um die in den mehreren Abtastschritten erfassten Signale auszuwerten. Optional ist die Auswerteinheit dazu eingerichtet, die erfassten Signale einem tomographischen Bildgebungsalgorithmus zu unterziehen, wobei das berechnete Bild auf einer integrierten oder separat ausgebildeten Anzeigevorrichtung zur Anzeige gebracht wird.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand einiger schematischer Darstellungen erläutert, ohne diese auf die gezeigte Ausführungsform zu beschränken.

Die Figur 1a zeigt schematisch einen Prüfkopf 1 und die sich dadurch ergebende Messanordnung. Wie in der Figur gezeigt ist der Prüfkopf 1 ringförmig ausgebildet. Die Erfindung ist jedoch nicht auf eine ringförmige Ausgestaltung des Prüfkopfes beschränkt, sondern wesentlich für die Erfindung ist die Anordnung mehrerer Ultraschallpiezowandlern, die in einem ringförmigen Array angeordnet sind. Im vorliegenden Fall sind diese auf dem Umfang gedachter konzentrischer Kreise angeordnet. Grundsätzlich kann jeder Wandler sowohl als Sender als auch als Empfänger fungieren.

Bei der gezeigten Messanordnung bilden in Radialrichtung benachbarte Wandler eines gedachten Ringsegments jeweils ein Subarray 2S, 2D, 2R von Ultraschallpiezowandlern die gemeinsam aktivierbar sind, im Falle des Subarrays 2S sind dies die Wandler 2S1, 2S2, 2S3, 2S4. Für den Fall dass die zugehörigen Wandler des Subarrays als Sender fungieren werden diese gemeinsam phasengesteuert angesteuert, um eine Hauptausbreitungsrichtung der durch die Wandler erzeugten Ultraschallwelle im Wesentlichen in Richtung des Zentrums des ringförmigen Arrays aus den Subarrays 2S, 2D, 2R zu erreichen.

Das Array des Prüfkopfs 1 mit seinen Subarrays 2S, 2D, 2R ist ringförmig ausgebildet und der Prüfkopf weist in dem wandlerfreien Bereich einen Durchbruch 8 auf, über den eine an dem Prüfkopf 1 anliegend angeordnete Oberfläche eines nicht näher bezeichneten und durch die Messanordnung zu untersuchenden Werkstücks zugänglich bleibt.

Das im Allgemeinen plattenförmige Werkstück ist über einen durch das erfindungsgemäße tomographische Verfahren zu untersuchenden, schematisch ange deuteten Schweißpunkt 4 mit einem weiteren, ebenfalls nicht näher bezeichneten, sich unter dem vorgenannten Werkstück befindlichen Werkstück verbunden. Der Schweißpunkt 4 wird im Wesentlichen durch eine Schmelzzone, auch als „Schweißbad“ oder „Nugget“ bezeichnet, definiert. Der Schweißpunkt befindet sich dabei in etwa auf dem Mittelpunkt der gedachten konzentrischen Kreise, auf deren Umfang die Wandler des Arrays 1 angeordnet sind.

In der Figur 1 ist ein Abtastschritt dargestellt, bei dem die mehreren Wandler eines Subarrays, hier die Wandler 2S1, 2S2, 2S3, 2S4 des von einem Kasten zum Pfeil 2S eingefassten Subarrays aktiviert und jeweils so untereinander phasenverschoben angesteuert werden, dass dabei Ultraschall als Lamb-Welle im Werkstück in Richtung des Schweißpunktes 4 und diesen wenigstens teilweise durchdringend erzeugt wird, ohne dass es einer entsprechenden Ausrichtung der Wandler bedarf. In demselben gezeigten Abtastschritt sind das diametral gegenüberliegende Subarray und seine in Umfangsrichtung jeweils zwei benachbarten Subarrays 2R aus Wandlern als Empfänger aktiviert und dienen der Erfassung einer orts- oder anders ausgedrückt, winkelabhängigen Kenngröße, wie der Ausbreitungsgeschwindigkeit oder der Amplitude des transmittierten Ultraschalls. Je nach Fokussierungsgrad des erzeugten Ultraschalls können auch weitere, zu dem

radial gegenüberliegenden Subarray benachbarte Subarrays als Empfänger aber auch weniger Subarrays aktiviert werden. Bei dem vorgenannten Abtastschritt sind die Subarrays 2D des Arrays 1 deaktiviert.

Das mittels der Subarrays 2R und der zugehörigen Wandler empfangene Signal entspricht beispielsweise dem in Figur 1b dargestellten Kenngrößenverlauf über die Empfängersegmente.

In nachfolgenden Abtastschritten wird dann eines der anderen Subarrays als Sender aktiviert und wieder entsprechend wenigstens das diametral gegenüberliegende Subarray als Empfänger aktiviert. Das Verfahren wird durchgeführt, bis wenigstens alle Segmente wenigstens einmal als Sender aktiviert wurden und damit eine 360°-Abtastung der Schweißverbindung zu erhalten. Es ergeben sich die zugehörigen Projektionen, wie in Figur 2 gezeigt, der Schweißverbindung 4.

Obwohl eine Messanordnung in Durchstrahlungstechnik gezeigt ist, ist es auch denkbar, das Verfahren in Reflexionsanordnung durchzuführen, indem beispielsweise zum sendenden Subarray benachbarte Subarrays als Empfänger aktiviert werden.

In einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zur Kompensation der räumlich inhomogenen Schalldruckverteilung im vom sendenden Wandler bzw. Subarray einschalteten Ultraschallstrahls eine Eichmessung zum Ausgleich dieser Inhomogenität durchgeführt. Hierzu wird der Prüfkopf 1 auf einen Bereich der Oberfläche des Prüfstücks aufgesetzt, in welchem sich kein Schweißpunkt befindet („nacktes Blech“). Der von einem Wandler oder einem Subarray eingeschaltete Ultraschallpuls wird vom diametral gegenüberliegenden Subarray aufgenommen, wobei die empfangene Pulsintensität von der Winkellage des empfangenden Wandlers im Subarray relativ zur Hauptrichtung des ausgesendeten Ultraschallpulses abhängt. In einem nachfolgenden Kalibrierschritt wird dann in der nachgeschalteten Auswerteelektronik die Verstärkung der die Signale der einzelnen Wandler des empfangenden Subarrays verarbeitenden Verstärker individuell so angepasst, dass ein eingeschalteter Ultraschallpuls in allen Wandlern des empfangenden Subarrays im Wesentlichen dieselbe Echoamplitude liefert. Es wird also eine Winkelabhängige Verstärkungsanhebung implementiert, die i.d.R. umso höher ist, je weiter die der empfangende Wandler des Subarrays

von der Hauptrichtung des ausgesendeten Ultraschallpulses entfernt ist. Eine vergleichbare Kompensation der inhomogenen Schalldruckverteilung mittels der vorbeschriebenen Eichmessung am nackten Blech ist nicht nur bei einer konventionellen (Gaußschen) Schalldruckverteilung möglich, vielmehr ist sie bei beliebigen Schalldruckverteilungen einsetzbar. Solche von der Standardkonfiguration abweichenden beliebigen Schalldruckverteilungen können bei spezifischen Prüfungsaufgaben bzw. –geometrien vorteilhaft sein.

Bevorzugt ist die dem Prüfkopf 1 nachgeschaltete Auswerteeinheit zur Ausführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens zum Ausgleich der räumlich inhomogenen Schalldruckverteilung eingerichtet.

Figur 3 zeigt schematisch, wie mittels einer Auswerteeinheit durch Radontransformation mittels Interpolation und Filterung aus den Projektionen ein rekonstruiertes Bild der Schweißverbindung berechnet wird und auf einer Anzeigevorrichtung zur Anzeige gebracht werden kann.

Figur 4 zeigt schematisch einen weiteren Prüfkopf 1' mit ringförmigem Array aus mehreren in den gedachten Kreisringsegmenten 5 des Prüfkopfs angeordneten Wandlern in EMAT-Technologie, mit dem die Schweißverbindung 4 untersucht werden soll. Hierbei kommt eine Spule 6 als Wandler, d.h. als Empfänger und Sender, zur Anwendung. Die Spule dient der elektromagnetischen Anregung von Ultraschall, hier in Form einer Lamb-Welle, in dem die Schweißverbindung 4 aufweisenden Werkstück. Im vorliegenden Fall ist die mit 6 bezeichnete Spule 6 in einem Abtastschritt aktiviert und erzeugt aufgrund ihrer speziellen gekrümmten Ausgestaltung unter anderem eine sich in Richtung der Schmelzzone 4 ausbreitende Wellenfront 9.

Die Schmelzzone 4 bleibt über den Durchbruch 8' im Prüfkopf trotz des auf der Oberfläche des Werkstücks aufliegenden Prüfkopfs 1' zugänglich. Es können mehr Wandler 6 über den Kreisumfang verteilt oder auf dazu in Radialrichtung parallel angeordnete Wandler vorgesehen sein, die in Subarrays gemeinsam angesteuert werden. Der Prüfkopf 1' eignet sich ebenfalls für die Durchführung des zuvor in Bezug auf Prüfkopf 1 beschriebenen Verfahrens.

Figur 5 zeigt schematisch die Durchführung eines weiteren Verfahrens unter Verwendung des erfindungsgemäßen Prüfkopfs 1. Dieses Verfahren dient der Vermessung der Schmelzzone einer Schweißverbindung 4. Dazu werden in jedem Abtastschritt die diametral gegenüberliegenden Wandler bzw. Subarrays paarweise als Sender 2S und Empfänger 2R angesteuert bzw. aktiviert. Der durch die Schweißschmelzzone 4 hindurchgehende Ultraschall wird jeweils durch diese geschwächt bzw. reflektiert. Anhand der transmittierten Amplitude kann die Ausdehnung der Schweißschmelzzone 4 in der Richtung ermittelt werden, die der Hauptausbreitungsrichtung des durch den vom jeweiligen Sender abgestrahlten Ultraschalls entspricht (siehe sich kreuzende Pfeile in Figur 5). Alternativ kann die sich jeweils ergebende Laufzeit bzw. Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ermittlung der Ausdehnung dienen. Aufgrund einer stark fokussierten und/oder einer Abstrahlung mit anderer Frequenz können mehrere Subarrays - im vorliegenden Fall jeweils drei Subarrays 2S - gleichzeitig aktiviert werden. Die Zahl der für eine allseitige Erfassung der Schmelzzone 4 erforderlichen Abtastschritte kann so reduziert werden. Die Segmente 2S senden so gleichzeitig und deren Ultraschall wird jeweils von dem diametral gegenüberliegenden Empfänger 2R gemessen. Die verbleibenden Wandler 2D bleiben in diesen Abtastschritten deaktiviert. In vorhergehenden und/oder nachfolgenden, nicht dargestellten Abtastschritten wird das gewonnene Ergebnis zur Bestimmung der Ausdehnung der Schweißschmelzzone 4 in der der jeweiligen Ultraschallausbreitungsrichtung entsprechenden Richtung herangezogen.

Patentansprüche

1. Prüfkopf (1, 1') zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung einer Anomalie, insbesondere einer Schweißschmelzzone, eines Werkstücks, umfassend ein in den Prüfkopf (1, 1') integriertes Array (2S, 2D, 2R) aus mehreren, auf einer Oberfläche des Werkstücks anzuordnenden Ultraschallwandlern (2S, 2D, 2R), die einzeln oder segmentweise als Ultraschallempfänger (2S) und Ultraschallsender (2R) selektiv ansteuerbar sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Array (2S, 2D, 2R) im Wesentlichen ringförmig ausgebildet ist und die Ultraschallwandler (2S, 2D, 2R) so angeordnet und/oder angesteuert werden, dass der jeweils erzeugte Ultraschall sich parallel zur Werkstückoberfläche ausbreitet.
2. Prüfkopf (1, 1') zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung gemäß dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ultraschallwandler (2S, 2D, 2R) so angeordnet und/oder angesteuert werden, dass der jeweils abgestrahlte Ultraschall in Richtung des jeweils gegenüberliegenden Randes des ringförmigen Arrays (2S, 2D, 2R) abgestrahlt wird.
3. Prüfkopf (1, 1') zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Prüfkopf (1, 1') einen im Wesentlich zentral angeordneten Durchbruch für die Zugänglichkeit des Werkstücks aufweist.
4. Prüfkopf (1, 1') zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ultraschallwandler (2S, 2D, 2R) in EMAT-Technologie aufgebaut sind.
5. Prüfkopf (1, 1') zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Array (2S, 2D, 2R) ein phasengesteuertes Array ist.
6. Verwendung des Prüfkopfs (1, 1') gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 in einem industriellen Fertigungsprozess, beispielsweise der Automobil-, Luft- oder Raumfahrtindustrie.

7. Anordnung aus einem Werkstück mit einer Schweißschmelzzone und einem an die Oberfläche des Werkstücks angrenzend angeordneten Prüfkopf (1, 1'), **gekennzeichnet** durch den Prüfkopf gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 und dadurch, dass die Schweißschmelzzone im Mittelpunkt des ringförmigen Arrays (2S, 2D, 2R) angeordnet ist.
8. Verfahren zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung einer Anomalie, insbesondere einer Schweißschmelzzone, eines Werkstücks, **gekennzeichnet durch** die Verwendung eines Prüfkopfs gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei in mehreren Abtastschritten der von jeweils einem Wandler oder einem Segment des Arrays erzeugte und danach durch das Werkstück und wenigstens teilweise durch die Anomalie oder Schweißschmelzzone transmittierte und/oder davon reflektierte Ultraschall mit jeweils anderer Hauptausbreitungsrichtung mittels mehrerer, bevorzugt benachbarter, als Empfänger fungierenden Wandler oder Segmente erfasst wird, Ausbreitungsrichtung und eine daraus jeweils erhaltene Projektion durch einen tomographischen Bildgebungsalgorithmus zur Rekonstruktion eines Bildes der Anomalie oder der Schmelzzone verarbeitet wird und das so rekonstruierte Bild ausgewertet und/oder zur Anzeige gebracht wird.
9. Verfahren gemäß dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** in den mehreren Abtastschritten wenigstens eine 360° Grad-Erfassung der Anomalie oder Schweißverbindung (4) durchgeführt wird.
10. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der tomographische Bildgebungsalgorithmus eine Radon-Transformation oder eine Rückprojektion umfasst, bevorzugt eine gefilterte Rückprojektion oder eine gewichtete Rückprojektion mit Shepp-Logan-Kern.
11. Verfahren zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung einer Anomalie, insbesondere einer Schweißschmelzzone, eines Werkstücks, **gekennzeichnet durch** die Verwendung eines Prüfkopfs gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei in mehreren Abtastschritten der von jeweils einem

Wandler oder einem Segment des Arrays erzeugte Ultraschall und danach durch das Werkstück und wenigstens teilweise durch die Anomalie oder Schweißschmelzzone transmittierte Ultraschall mit jeweils anderer Hauptausbreitungsrichtung mittels eines dem Ultraschall erzeugenden Wandler oder Segment im Wesentlichen diametral gegenüberliegenden Wandler oder Segment erfasst wird und ein daraus jeweils erhaltener Messwert zur Bestimmung der betreffenden Abmessung der Anomalie oder der Schweißschmelzzone ausgewertet wird.

12. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem jeweiligen Abtastschritt die Amplitude des transmittierten und/oder reflektierten Ultraschalls und/oder die zugehörigen Laufzeiten erfasst werden.
13. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere der Abtastschritte zeitgleich durchgeführt werden.
14. Verschweißverfahren **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Verschweißen, insbesondere Punktverschweißen, wenigstens zweier Werkstücke ein Verfahren zur zerstörungsfreien Ultraschalluntersuchung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 12 durchgeführt wird.

Fig. 1a

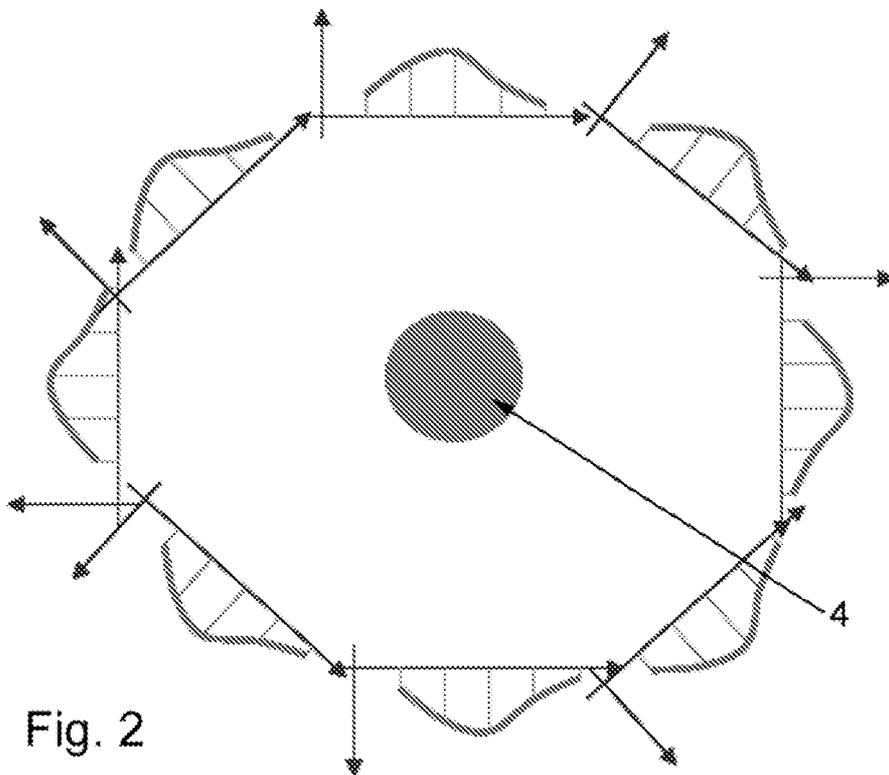
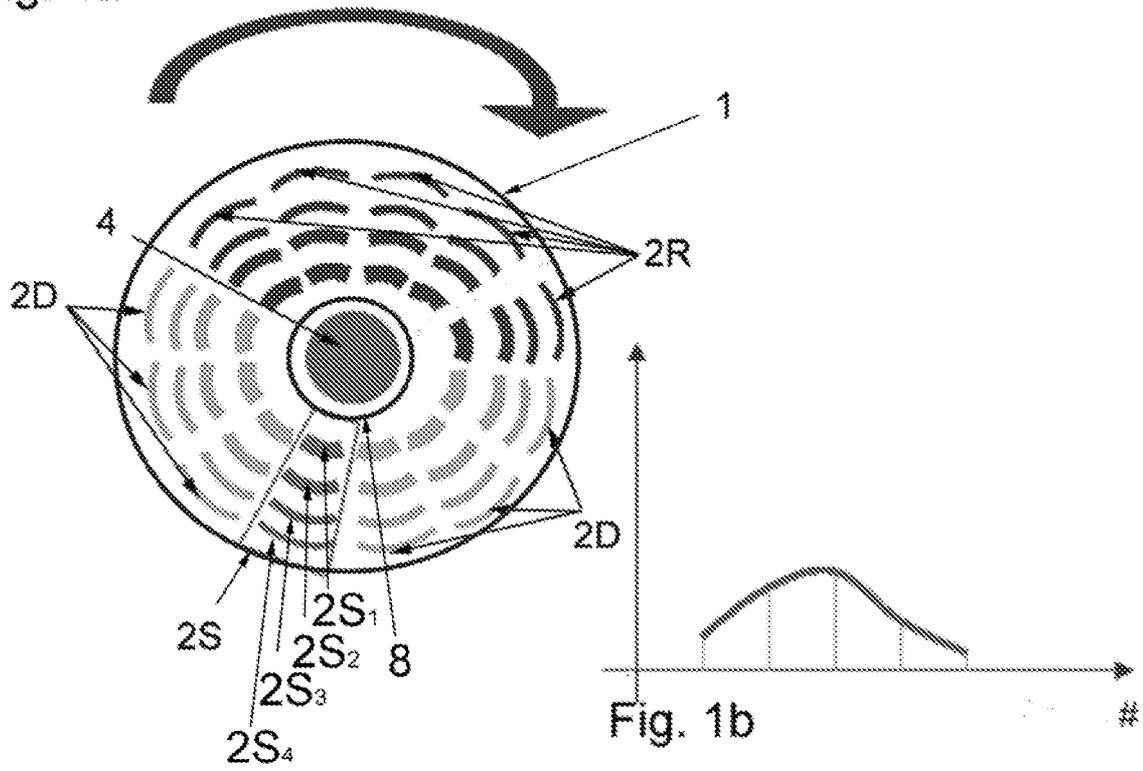


Fig. 2

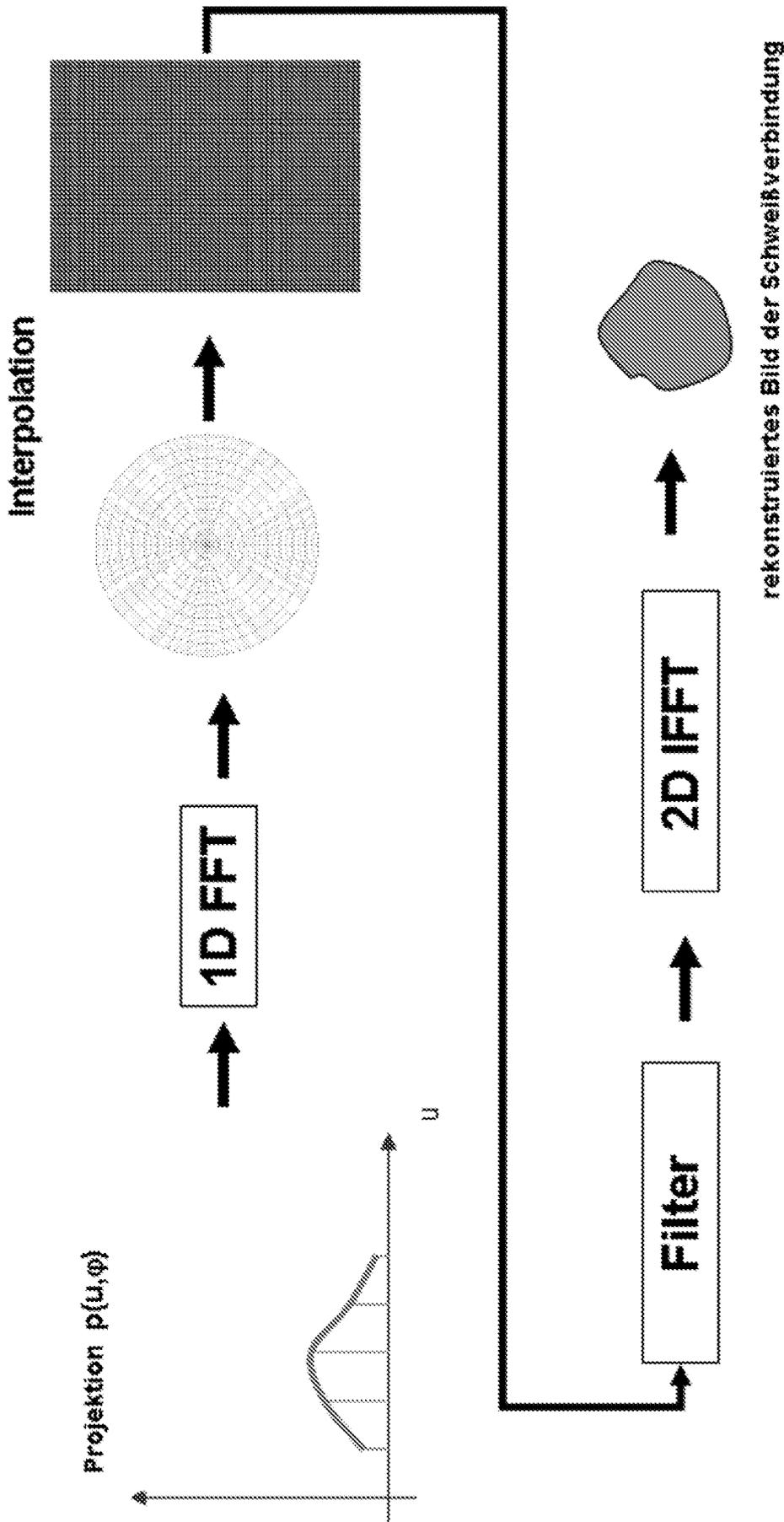


Fig. 3

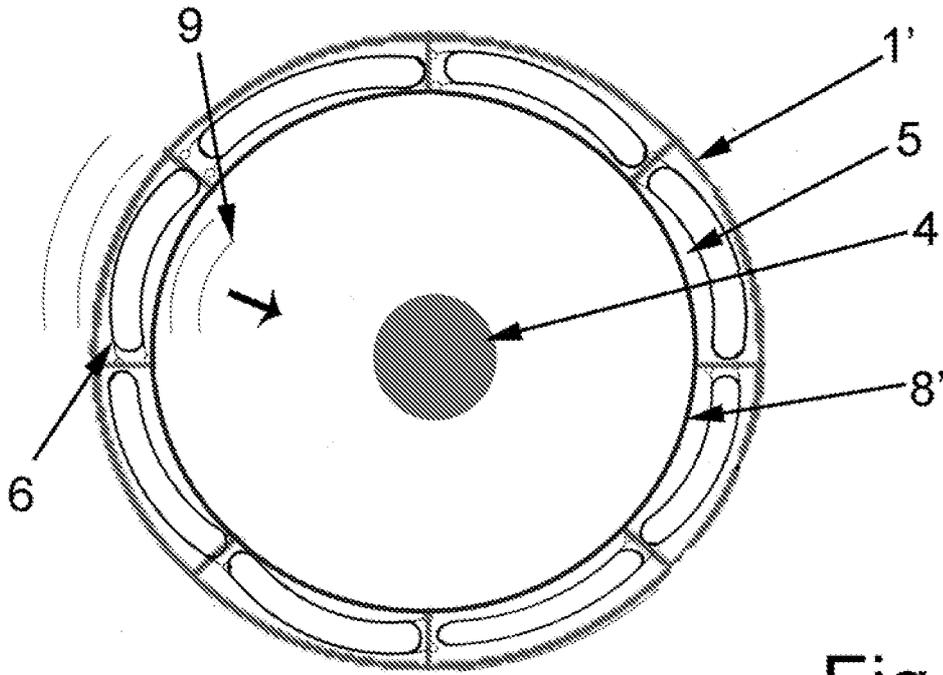


Fig. 4

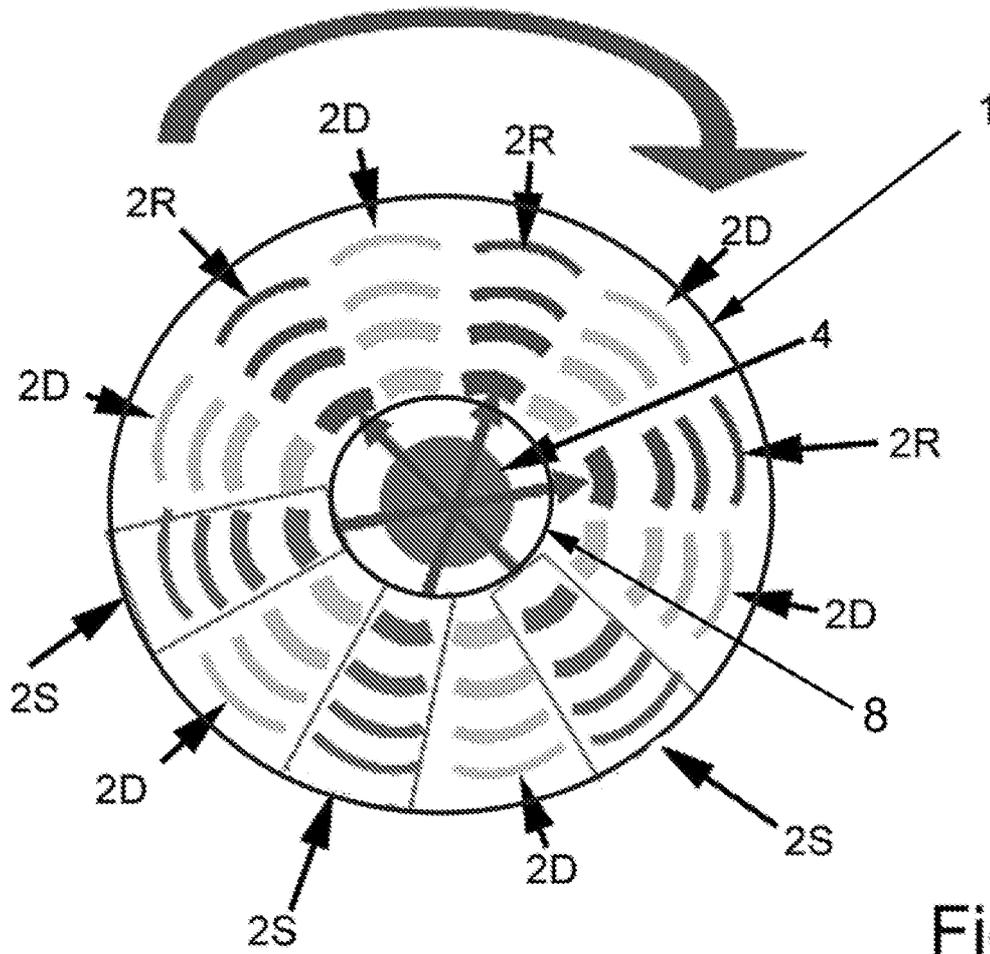


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/053865

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N29/26 G01N29/04 B06B1/06 G10K11/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N B06B G10K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>VAN VELSOR J K ET AL: "Guided-wave tomographic imaging of defects in pipe using a probabilistic reconstruction algorithm" INSIGHT (NON-DESTRUCTIVE TESTING AND CONDITION MONITORING), BRITISH INSTITUTE OF NON-DESTR. TEST., NORTHAMPTON, GB, vol. 49, no. 9, 1 September 2007 (2007-09-01), pages 532-537, XP009120702 ISSN: 1354-2575 cited in the application abstract; figure 1 paragraph [3.EXPERIMENTAL.PROCEDURE] paragraph [5.SPARSE.ARRAY.STUDY] paragraph [6.CONCLUSION]</p> <p align="center">-/--</p>	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 Juli 2009

Date of mailing of the international search report

10/08/2009

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Filipas, Alin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/053865

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>VELICHKO A ET AL: "Guided wave arrays for high resolution inspection" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA PUBLISHED FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA THROUGH THE AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS USA, vol. 123, no. 1, January 2008 (2008-01), pages 186-196, XP002539180 ISSN: 0001-4966 abstract; figures 1,11 paragraph [II.A] paragraph [III.E] paragraph [V.EXPERIMENTAL.EXAMPLE] paragraph [VII.CONCLUSION]</p>	1,8
X	<p>US 6 148 672 A (CAWLEY PETER [GB] ET AL) 21 November 2000 (2000-11-21) column 1, line 28 - column 2, line 21 column 3, lines 19-24 column 4, lines 10-13 column 7, line 63 - column 8, line 8; figure 6</p>	1,3
A	<p>US 6 250 163 B1 (MACLAUHLAN DANIEL T [US] ET AL) 26 June 2001 (2001-06-26) cited in the application the whole document</p>	1,6,8,11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2009/053865

Patent document cited in search report	A	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6148672	A	21-11-2000	AT 216079 T	15-04-2002
			DE 69526361 D1	16-05-2002
			DE 69526361 T2	02-01-2003
			EP 0787294 A1	06-08-1997
			WO 9612951 A1	02-05-1996
			GB 2308191 A	18-06-1997
			JP 3732513 B2	05-01-2006
			JP 10507530 T	21-07-1998
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
US 6250163	B1	26-06-2001	NONE	
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2009/053865

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01N29/26 G01N29/04 B06B1/06 G10K11/34		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01N B06B G10K		
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, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	VAN VELSOR J K ET AL: "Guided-wave tomographic imaging of defects in pipe using a probabilistic reconstruction algorithm" INSIGHT (NON-DESTRUCTIVE TESTING AND CONDITION MONITORING), BRITISH INSTITUTE OF NON-DESTR. TEST., NORTHAMPTON, GB, Bd. 49, Nr. 9, 1. September 2007 (2007-09-01), Seiten 532-537, XP009120702 ISSN: 1354-2575 in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1 Absatz [3.EXPERIMENTAL.PROCEDURE] Absatz [5.SPARSE.ARRAY.STUDY] Absatz [6.CONCLUSION]	1-14
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
<ul style="list-style-type: none"> * 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 internationalen 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 internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen 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 *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist 		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
29. Juli 2009		10/08/2009
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 Filipas, Alin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2009/053865

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>VELICHKO A ET AL: "Guided wave arrays for high resolution inspection" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA PUBLISHED FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA THROUGH THE AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS USA, Bd. 123, Nr. 1, Januar 2008 (2008-01), Seiten 186-196, XP002539180 ISSN: 0001-4966 Zusammenfassung; Abbildungen 1,11 Absatz [II.A] Absatz [III.E] Absatz [V.EXPERIMENTAL.EXAMPLE] Absatz [VII.CONCLUSION]</p>	1,8
X	<p>US 6 148 672 A (CAWLEY PETER [GB] ET AL) 21. November 2000 (2000-11-21) Spalte 1, Zeile 28 - Spalte 2, Zeile 21 Spalte 3, Zeilen 19-24 Spalte 4, Zeilen 10-13 Spalte 7, Zeile 63 - Spalte 8, Zeile 8; Abbildung 6</p>	1,3
A	<p>US 6 250 163 B1 (MACLAUHLAN DANIEL T [US] ET AL) 26. Juni 2001 (2001-06-26) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument</p>	1,6,8,11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/053865

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6148672	A	21-11-2000	AT 216079 T 15-04-2002
		DE 69526361 D1	16-05-2002
		DE 69526361 T2	02-01-2003
		EP 0787294 A1	06-08-1997
		WO 9612951 A1	02-05-1996
		GB 2308191 A	18-06-1997
		JP 3732513 B2	05-01-2006
		JP 10507530 T	21-07-1998
<hr/>			
US 6250163	B1	26-06-2001	KEINE
<hr/>			