

(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
13. Dezember 2007 (13.12.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/141015 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 29/06 (2006.01) *G01N 29/44* (2006.01)
G01N 29/07 (2006.01) *G01N 33/38* (2006.01)
G01N 29/11 (2006.01) *G01S 15/52* (2006.01)
G01N 29/34 (2006.01) *G01S 15/89* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/005029

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Juni 2007 (01.06.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 027 132.7 2. Juni 2006 (02.06.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **BAM BUNDESANSTALT FÜR MATERIAL-FORSCHUNG UND -PRÜFUNG** [DE/DE]; Unter den Eichen 87, 12205 Berlin (DE). **UNIVERSITÄT KASSEL** [DE/DE]; Wilhelmshöher Allee 71, 34125 Kassel (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MILMANN, Boris** [DE/DE]; Alt-Mariendorf 13, 12107 Berlin (DE). **KRAUSE, Martin** [DE/DE]; Wartenburgstr. 3, 10963 Berlin (DE). **MIELENTZ, Frank** [DE/DE]; Werderstr. 18, 14163 Berlin (DE). **MAYER, Klaus** [DE/DE]; Orffstr. 18, 34246 Kassel (DE).

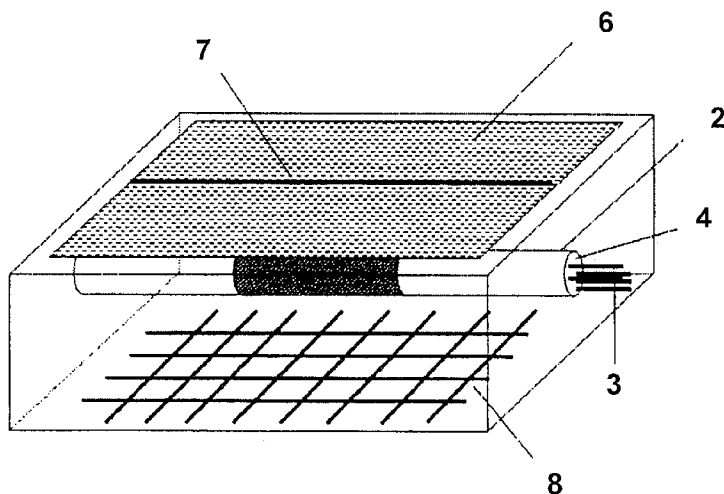
(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR**; Joachimstaler Str. 10-12, 10719 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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, 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, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DETECTION AND CLASSIFICATION OF IMPERFECTIONS IN COMPONENTS BY MEANS OF ULTRASOUND

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM DETEKTIEREN UND KLASSIFIZIEREN VON FEHLSTELLEN IN BAUTEILEN MITTELS ULTRASCHALL



(57) Abstract: A method for detection and classification of imperfections in components is proposed having the following stages: Irradiation of pulsed ultrasonic waves from electrical emission pulses on several points of the surface of the component to be examined, reception of the reflected ultrasonic waves at several points of the surface for generating multiple electrical reception signals, analysis and evaluation of the electrical reception signals in terms of their amplitude information with reference to the positions of the points of the irradiated ultrasonic waves and the detected reflected sound waves for generating a three-dimensional spatial distribution of the scattering properties of the component, wherein in addition to the amplitude information the phase angle of scattering readouts is evaluated and the phase information is assigned to the three-dimensional spatial distribution of the scattering properties of the component, with the amplitude information being invoked for detecting the imperfections, and the amplitude information and the phase information of the three-dimensional spatial distribution being invoked for classification.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/141015 A1



(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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zum Detektieren und Klassifizieren von Fehlstellen in Bauteilen mit folgenden Schritten vorgeschlagen: Einstrahlen von impulsförmigen Ultraschallwellen aus elektrischen Sendeimpulsen an mehreren Stellen der Oberfläche des zu untersuchenden Bauteils, Aufnehmen der reflektierten Ultraschallwellen an mehreren Stellen der Oberfläche zur Erzeugung einer Mehrzahl von elektrischen Empfangssignalen, Analysieren und Auswerten der elektrischen Empfangssignale hinsichtlich ihrer Amplitudeninformation unter Heranziehung der Positionen der Stellen der eingestrahlten Ultraschallwellen und der aufgenommenen reflektierten Schallwellen zur Erzeugung einer dreidimensionalen Ortsverteilung der Streueigenschaften des Bauteils, wobei zusätzlich zur Amplitudeninformation die Phasenlage von Streuanzeigen ausgewertet wird und die Phaseninformation der dreidimensionalen Ortsverteilung der Streueigenschaften des Bauteils zugeordnet wird, wobei zur Detektion der Fehlstellen die Amplitudeninformation und zur Klassifizierung die Amplitudeninformation und die Phaseninformation der dreidimensionalen Ortsverteilung herangezogen wird.

VERFAHREN ZUM DETEKTIEREN UND KLASSIFIZIEREN VON FEHLSTELLEN IN BAUTEILEN
MITTELS ULTRASCHALL

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren und Klassifizieren von Fehlstellen in Bauteilen, insbesondere von Verpressfehlern in Spannkanälen oder von Verdichtungsmängeln in Betonbauteilen nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

10 Es ist bekannt Ultraschall-Prüfverfahren bei einer Vielzahl von unterschiedlichen Bauteilen anzuwenden. Unter anderen werden auch Strukturen in Bauwerken, z. B. aus Beton oder ähnlichen Materialien geprüft. Viele Betonbauwerke der Gegenwart sind sog. Spannbeton-

15 bauten. Die Eigenschaft von Beton, nur eine relativ geringe Zugfestigkeit zu besitzen, wird durch eine künstliche innere Vorspannung der Objekte durch Stahlseile bzw. Spanndrähte erreicht. Die Stahlseile werden in sog. Spannkanälen oder auch Hüllrohren ge-

führt und nach der Erhärtung des Betons gespannt. Danach werden die Hüllrohre mit Verpressmörtel verfüllt, um einen festen Verbund zwischen den Stahlseilen und der Betonkonstruktion zu erreichen. Dabei ist es wichtig, dass der Verpressmörtel die Hüllrohre vollständig ausfüllt und die Spanndrähte lückenlos ummantelt, da sich in Hohlräumen Feuchtigkeit ansammeln kann und die Spanndrähte durch Korrosion angegriffen und zerstört werden können. Solche Hohlräume bzw. Verpressfehler in Spannkanälen stellen einen Qualitätsmangel dar, der im Extremfall zum Versagen des Bauteils und zum Einstürzen des Bauwerks führt. Zur Beurteilung der Standsicherheit einer Betonkonstruktion ist ebenso die Kenntnis über Verdichtungsmängel und Kiesnester wesentlich.

Zur Detektion von Fehlstellen in Bauteilen ist auch das Ultraschallecho-Verfahren bekannt, bei dem Ultraschallwellen in die Oberfläche des zu untersuchenden Objektes eingestrahlt werden und die reflektierten Schallwellen erfasst werden. Dabei kommt es zu Streuvorgängen und abhängig von der Intensität der Reflexion wird auf Fehlstellen geschlossen. Die Detektion von Spannkanälen beruht auf der Intensität der Reflexion von der der Messoberfläche zugewandten Hüllrohreseite. Bei Lufteinschlüssen ist diese im Vergleich zu gut verpressten Bereichen signifikant intensiver (s. Krause, M., Mielentz, F, Milmann, B., Streicher, D., Müller, W., Ultrasonic imaging of concrete elements: State of the art using 2D synthetic aperture, in: DGZfP (Ed.): International Symposium of Non-destructive Testing in Civil engineering (NDT-CE) in Berlin, Germany, September 16-19, 2003, Proceedings on BB 85-CD, V51, Berlin (2003); Kroggel, O.; Scherzer, J.; Jansohn, R.: The Detectability Of Improper Filed Ducts With Ultra-sound Re-

flection Techniques. NDT.net - March 2002, Vol. 7 No. 03; Schickert, M.; Krause, M.; Müller, W.: Ultrasonic Imaging of Concrete Elements using SAFT Reconstruction, Journal of Materials in Civil Engineering 15 (2003) 3, S. 235-246). Zusätzlich kann die Rückseitenreflexion des Hüllrohres zur Interpretation des Verpresszustandes herangezogen werden, die nur in gut verpressten Abschnitten auftritt.

10 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu Detektion und Klassifikation von Fehlstellen in Bauteilen zu schaffen, das gegenüber dem Ultraschallecho-Verfahren nach dem Stand der Technik die Aussagesicherheit bei der Feststellung von Fehlstellen verbessert.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Hauptanspruchs in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gelöst.

20 Dadurch, dass an einer Mehrzahl von Stellen impulsförmige Ultraschallwellen in das Betonbauteil eingestrahlt werden und die reflektierten Ultraschallwellen gleichfalls an mehreren Stellen der Oberfläche aufgenommen werden und anschließend die hochfrequenten elektrischen Empfangssignale unter Heranziehung der Positionen der Stellen der Einstrahlung und Aufnahme zur Erzeugung einer dreidimensionalen Ortsverteilung der Streueigenschaften des Objektes analysiert und ausgewertet werden, wobei zusätzlich zur Amplitudeninformation der Phasenwert des Streuvorganges ausgewertet wird und die Phaseninformation der dreidimensionalen Ortsverteilung der Streueigenschaften des Objekts zugeordnet wird und wobei zur Ortung der Fehlstellen die Amplitudeninformation und zur Klassifizierung der Fehlstellen (unschädliche Streu-

anzeigen oder wirkliche schädliche Fehlstellen) die Amplituden und die Phaseninformation der dreidimensionalen Ortsverteilung herangezogen wird, wird die Signifikanz und Aussagesicherheit bei der Feststellung von Fehlstellen, z.B. Verpressfehler deutlich verbessert.

Es wird somit die Phasenlage zusammen mit der Amplitudeninformation des Streuvorgangs für die Charakterisierung des Zustandes des Bauteils beispielsweise des Spannkanals herangezogen. Es werden die Amplituden- und Phaseninformationen aus dem Ergebnis von Rekonstruktionen ausgewertet, da dabei die Messdaten auf den Streuvorgang besser fokussiert werden und eine räumliche Trennung verschiedener Streuvorgänge erreicht wird. Diese Auswertung kann manuell durch Analyse der graphischen Darstellung der Schnitte und Projektionen aus der dreidimensionalen Ortsverteilung der 2D- bzw. 3D-SAFT-Rekonstruktion in Form von vorzeichenbehafteten B-Bildern und C-Bildern oder automatisiert durch Berechnung des jeweils lokalen Phasenwertes erfolgen.

Auf diese Weise gelingt die Klassifizierung des Reflektors z.B. des unverfüllten Hüllrohrs, weil der Unterschied des Phasenwertes zwischen dem akustisch dichterem Reflektor, z.B. Stahl, und dem Verpressfehler, z.B. Luft, ausgewertet wird. Ein solches Verfahren kann auch zur Erkennung von Verdichtungsmängeln und Kiesnestern im Beton angewendet werden, wobei durch die Auswertung der Phasenlage diese von Bewehrungsstäben unterschieden werden können.

Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt eine automatisierte Datenaufnahme, Auswertung und Dokumentation, wobei Rohdaten, Rekonstruktionen, Geometrieinformati-

onen und Phasenbewertung objektbezogen ermittelt, visualisiert und gespeichert werden.

5 Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren unter Heranziehung der beigefügten Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- 10 Fig. 1 eine perspektivische schematische Ansicht eines Betonbauteils als Probekörper,
Fig. 2 eine Darstellung eines Ausschnitts aus den Messdaten vor der Rekonstruktion,
Fig. 3 eine Amplituden- und Phasendarstellung der dreidimensionalen Rekonstruktion der Messdaten im Tiefenschnitt,
15 Fig. 4 eine Amplituden- und Phasendarstellung der dreidimensionalen Rekonstruktion der Messdaten im Schnitt parallel zur Messfläche,
20 Fig. 5 ein Konstruktionsplan eines weiteren Beispiels eines Betonbauteils mit einbetonierten Metall- und Styrodurplatten,
Fig. 6 eine Rekonstruktion der Messdaten hinsichtlich der Amplitude als Schnitt in der Tiefe der Metallplatten und
25 Fig. 7 eine Rekonstruktion der Messdaten hinsichtlich der Phase als Schnitt in der Tiefe der Metallplatten.

30

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren, das an Hand von Betonbauteilen erläutert wird, werden Ultraschallwellen über geeignete Ultraschallwandler in das Betonbauteil eingekoppelt und die an der Rückseite des Betonbauteils oder an Fehlstellen, Bewehrungen und anderen Materialsprüngen reflektierten Ultraschallwellen

35

len werden von den Ultraschallwandlern empfangen. Geeignete Ultraschallwandler sind beispielsweise solche auf Piezobasis arbeitende Schwinger, die kein Koppelmittel benötigen. Es werden beispielsweise mehrere in einem Array angeordnete Einzelschwinger verwendet, die federnd gelagerte Kontaktspitzen aufweisen. Dabei kann einer oder mehrere der Einzelschwinger als Sender arbeiten, während die anderen als Empfänger dienen. Die Empfangssignale werden in verarbeitbare digitale Daten umgewandelt und gespeichert. Um das gesamte Bauteil untersuchen zu können, wird die Ultraschallmessung in einem dichten Raster auf der zugänglichen Oberfläche des Bauteils durchgeführt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Messdaten qualitativ hochwertig sind. Außerdem werden die Sende- und Empfangspositionen der Ultraschallwandler oder -sensoren aufgezeichnet und gespeichert.

Im bekannten Stand der Technik werden die erfassten Rohdaten, die hinsichtlich der Amplitude der empfangenen Ultraschallwellen aussagekräftig sind, zusammen mit den Positionsangaben der Ultraschallsensoren mit einem 3D-Abbildungs- oder Imaging-Verfahren, wie einem 3D-SAFT-Algorithmus (Synthetic Aperture Focussing Technique) ausgewertet, wodurch das Volumen des Bauteils dreidimensional rekonstruiert und wodurch das Innere des Betonbauteils akustisch abgebildet und die Ortsverteilung der Streueigenschaften dargestellt wird.

Das Auffinden von Verpressfehlern in Spannkämen als konkretes Ausführungsbeispiel beruht somit u.a. auf der Messung eines Intensitätsunterschiedes der Reflexion von Ultraschallimpulsen an den Spanngliedern, wobei an Lufteinschlüssen, die Verpressfehler darstellen, quasi eine Totalreflexion stattfindet, d.h.

der Reflexionskoeffizient nimmt seinen maximal möglichen Wert an. Dem gegenüber ist die Reflexion an gut verpressten Hüllrohren geringer, da Teile des Schalls durch die dünne Hüllrohrwand und den Verpressmörtel in das Hüllrohr eindringen.

Für die Auswertung können somit aus der dreidimensionalen Rekonstruktion der Streueigenschaften Schnitte und Projektionen hergeleitet werden, die als B-Bilder und als C-Bilder bekannt sind, wobei die C-Bilder parallel zur Einstrahloberfläche (parallel zur X- Y- Ebene) liegen, während die B-Bilder Schnittebenen durch das Material in Richtung der Einstrahlung sind.

An diesen Bildern kann die Tiefen- und Intensitätsverteilung der Reflexion abgelesen werden, aus der wiederum festgestellt werden kann, wo Fehler vorhanden sind. Aus Standardrekonstruktionen werden in einem wählbaren Tiefenraster die Intensitätsverteilungen geliefert. Dann werden die Koordinaten ausgewählt, in denen ein Reflektor entdeckt oder erwartet wird. Insgesamt ist der Visualisierungsvorgang interaktiv.

Zur sicheren Ortung von Verpressfehlern ist ein ausreichend deutlicher Unterschied in der Reflexion zwischen gut verpresstem und luftgefülltem Bereich erforderlich. In der Praxis wird das nicht immer erreicht, da die Ultraschallausbreitung zusätzlich durch die schlaffe Bewehrung, die Güte der Schallübertragung an der Betonoberfläche und den Zustand des Betons beeinflusst wird. Daher wird entsprechend der Erfindung für die Klassifizierung zusätzlich zur Amplitudeninformation, d.h. zu den Intensitätsunterschieden der Reflexion von Ultraschallimpulsen innerhalb des Bauteils, die durch die Reflexion bewirkte

Phasenänderung der Ultraschallimpulse herangezogen, d.h. es wird die Phase des reflektierten Signals betrachtet.

5 Es ist bekannt, dass ein mit einem Piezowandler gemessener Ultraschallimpuls (Schalldruck) bei einer Reflexion an einem akustisch dichteren Material seine Impulsform beibehält, während sich bei der Reflexion an einer Grenzschicht zu einem dünneren Material ein
10 Phasensprung von 180° , also eine Impulsumkehr ergibt, d.h. bei einer Reflexion an Stahl bleibt die Phase erhalten, während an Luft der Phasensprung auftritt.

15 Da in Betonbauteilen sich die Reflexionen von verschiedenen Grenzflächen überlagern, wobei im Ausführungsbeispiel der Übergang von Hüllrohrwand bzw. Stahllitze zum Verpressmörtel jeweils eine zusätzliche Grenzschicht darstellt, ist es erforderlich, nicht nur den Phasensprung des reflektierten Impulses
20 zu betrachten, sondern die Phasendrehung, die sich insgesamt in einem mehrschichtigen System ergibt. Die oben skizzierten Fälle 0° und 180° Phasenlage sind Spezialfälle, die sich bei Impulsen und sinus- oder kosinusförmigen Signalen leicht verstehen lassen, da
25 eine Phasendrehung von 180° bei Kosinus-Funktionen eine Vorzeichenumkehr bedeutet: $\cos(\phi) = -\cos(\phi + 180^\circ)$. Ein impulsförmiges Signal lässt sich in Spektralanteile zerlegen, die sich im Falle der Ultraschallanregung um eine Mittenfrequenz anordnen (Bandpass-Signal), wobei jeder Spektralanteil aus einer
30 phasenverschobenen Kosinus-Funktion besteht. Dabei ist eigentlich das Spektrum kontinuierlich, d.h. es gibt alle Frequenzen, aber bei einer numerischen Spektralzerlegung (Diskrete Fouriertransformation
35 DFT) werden diskrete Spektrallinien erhalten. Wird der Einfachheit halber nur die Spektrallinie bei der

Mittenfrequenz des Prüfkopfes betrachtet, so gehört dazu eine Kosinus-Schwingung mit einer Amplitude und einer Phasenlage. Die Phasenlage bezieht sich jedoch auf den Anfangszeitpunkt der Spektralanalyse und dieser ist frei wählbar. Daher sind die Phasenlage der Spektrallinie und damit die Phasenlage des analysierten Impulses nur bis auf einen Offset bestimmbar. Da die Phasenlage für den Streuvorgang bestimmt werden muss, darf nicht der Startzeitpunkt des Sendesignals als Referenzpunkt verwendet werden, sondern einen typischer Zeitpunkt im empfangenen Streuimpuls. Bei einem symmetrischen Impuls kann man sich leicht auf die Impulsspitze "setzen" und identifiziert dann die Spitze als positiv oder negativ und damit auf 0° oder 180° Phasenlage.

Dagegen ist bei Impulsen, die durch Streuung an nicht ebenen Flächen, oder an Schichten entstehen, stets eine Überlagerung von vielen Impulsen vorhanden (bei nur einer Frequenz würde von Interferenz gesprochen), die die Symmetrie des Gesamtimpulses verändern, und damit wird die Festlegung des Referenzpunktes nicht mehr offensichtlich und die Analyse der Phasenlage wird willkürlich.

Im Folgenden wird der Unterschied zwischen Signalauswertung und Rekonstruktion zum besseren Verständnis dargestellt. Die obigen Aussagen bezogen sich auf das gemessene Ultraschallsignal. Abbildungsverfahren wie 3D-SAFT, die von einer einseitigen Messfläche ausgehen, übertragen die Phaseninformation (mangels begrenzten Auflösungsvermögens) auf die Rekonstruktion und die Signale werden ersetzt durch synthetisch fokussierte B-Bilder. Genauer gesagt, die Zeitkoordinate bei dem Signal wird ersetzt durch die Tiefenkoordinate in der Rekonstruktion (im Ausführungsbeispiel

die z-Koordinate). Der angezeigte Phasenwert ist in beiden Fällen nicht identisch, hat aber die gleiche Tendenz. Dies ergibt sich aus der komplexen Struktur des SAFT Algorithmus, der einige Ursachen der Phasendrehung im Streusignal teilweise korrigiert (streugeometrieabhängige Anteile) andere aber nicht (dünne Schichten, Mehrfachreflexionen). Die Auflösung in der Rekonstruktion ist in Tiefenrichtung im Wesentlichen identisch mit der Auflösung der Zeitsignale, nur ist der Weg (Wellenlänge) mit Hilfe der Ausbreitungsgeschwindigkeit umzunormieren. Jedoch ist das fokussierte B-Bild der Rekonstruktion wesentlich rauschfreier als die Daten, daher funktioniert die Phasenbestimmung besser.

Mittels eines Algorithmus wird auch die Phase der reflektierten Ultraschallimpulse ausgewertet und eine dreidimensionale Rekonstruktion auf der Grundlage der Phaseninformation berechnet. Aus dem Ergebnis ergibt sich die Phasendrehung bei der Reflexion in einer Farbskala entsprechend den B- bzw. C-Bildern, wodurch es möglich ist, den Wert der Phasendrehung orts aufgelöst abzulesen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird zur Bestimmung der Phasenlage des Streuvorgangs folgendermaßen vorgegangen :

Phasenbestimmung aus der Impulsform der Rekonstruktion:

Methode a) :

Es wird die Tiefenskala aus den Amplitudenabbildungen verwendet und der Signalverlauf in der Tiefe eines erwarteten Streuvorgangs (Oberkante Hüllrohr o.ä.) betrachtet und dann das Vorzeichen des Hauptimpulses erkannt.

Methode b) :

Es wird eine mathematische Einhüllende über das B-Bild (oder das Signal) - dies ist eine Art Intensitätswertbildung - berechnet, auf diese Art das Zentrum der Anzeige gefunden und an dieser Stelle das Vorzeichen des (nicht "eingehüllten") Original-B-Bildes analysiert.

Rechnerische Methode:

Es wird die Einhüllende des B-Bildes (oder des Signals) berechnet und das Maximum der Einhüllenden als Phasen-Referenz-Punkt definiert. Von diesem Punkt aus wird der Impuls eine Schwingung der Mittenfrequenz nach rechts und nach links freigeschnitten und über eine Fouriertransformation dieses Ausschnitts der Phasenwert der Spektrallinie bei der Mittenfrequenz bestimmt, der nun Werte von 0° - 360° annehmen kann. Dieser Wert wird dem jeweiligen Streuzentrum zugeordnet. Es werden also nicht Phasenwerte für das gesamte B-Bild, sondern nur für Streuzentren erhalten. Die Auswahl der Streuzentren erfolgt über einen Schwellenwert der Einhüllenden, der einstellbar ist.

Die Berechnung wurde grob oben geschildert; als Parameter gehen ein: Wellenlänge bei der Mittenfrequenz, zwei Schnittparameter für die Breite des auszuscheidenden Signalfensters sowie der Schwellwert der Identifikationsempfindlichkeit. Es wird in der aktuellen Implementierung die Phaseninformation für die gesamte Rekonstruktion berechnet und danach können die Schnitte zusammen mit der Amplitudeninformation interaktiv dargestellt werden. Um den geometrischen Zusammenhang in einem Bild leichter zu erfassen, ist im Phasenbild das Amplitudenbild als Schwarzweißbild für Werte kleiner als die Identifikationsschwelle mit angezeigt. Dazu wird die Phaseninformation als Farbwert, der die Amplitude als Helligkeitswert mit enthält, dargestellt. Mit Hilfe von Cursorsen kann der

Phasenwert als Zahlenwert an jedem Punkt der Rekonstruktion angezeigt werden.

5 Fig. 1 zeigt die schematische Darstellung eines Betonbauteils 1 als Probekörper mit einem Hüllrohr 2, in das Stahllitzen 3 eingezogen und mittels Verpressmörtel 4 festgelegt sind. Ein Verpressfehler 5, d.h. ein unverpresster Bereich ist schraffiert dargestellt. In der Figur oben ist die Messfläche und insbesondere eine Messlinie 7 über dem Hüllrohr 2 auf dem Betonbauteil 1 und unten in demselben eine schlaaffe Bewehrung 8 angeordnet. Im realen Bauteil ist üblicherweise eine Bewehrungslage auch zwischen Hüllrohr 2 und Messfläche 6 zu finden, was hier jedoch nicht berücksichtigt ist.

10

15

In den Fig. 2 bis 4 ist die Auswertung der in den Probekörper eingestrahlt und reflektierten Ultraschallwellen dargestellt.

20

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt (B-Bild) der flächigen Messung entlang einer Linie über dem Hüllrohr 2 in x-Richtung für $y = 0,67$ m, d.h. die Zeit $t \times 10^4$ s über dem Ort x in m. Aus dem Verlauf der Amplitude der Messsignale ist zu erkennen, dass eine Impulsverformung in einem Bereich des Hüllrohrs 2 auftritt, der als unverpresst gefertigt wurde. Es ist zwar auch eine Amplitudenänderung zu erkennen, die aber ebenso von der schlaffen Bewehrung zwischen Hüllrohr 2 und Messfläche herrühren könnte (tatsächlich existiert ein solcher Bereich im Probekörper).

25

30

Fig. 3 zeigt oben die Amplituden- und unten die Phasenauswertung der 3D-FT-SAFT Rekonstruktion der Messdaten nach Fig. 2 als B-Bild, d.h. als Tiefenschnitt x, z bei $y = 0,7$ m. Die Analyse der Daten zeigt, dass

35

die Phase deutlich unterschiedliche Werte zwischen verpresstem und unverpresstem Bereich (ca. 150° gegenüber 86°) liefert. Da die Fign. nicht als Farbbilder wiedergegeben werden können, sind sie als
5 schwarz/weiß Bilder mit zusätzlichen Schraffuren der relevanten Anzeigen dargestellt und beschriftet.

Fig. 4 zeigt eine Scheibe (C-Bild; x, y) der 3D-FT-SAFT Rekonstruktion der Messdaten der Fig. 2 hinsichtlich der Auswertung der Amplitude (oben) und der
10 Phase (unten) parallel zur Messfläche in der Tiefe der Oberkante des Hüllrohrs 2 ($z=-0,285\text{m}$). Auch hier ist der nicht verpresste Bereich gut erkennbar.

In Fig. 5 ist ein weiteres Beispiel eines Probekörpers, nämlich eines Plattenprüfkörpers von der Rückseite und im Schnitt dargestellt, der mehrere Metallplatten 1,2 und 4 bis 6 unterschiedlicher Dicke aufweist, die unter Anlegung von Styrodur A, das Luft
20 darstellen soll, in Beton eingegossen sind. Das Feld 3 ist mit Beton und Styrodur ohne Metall ausgefüllt. Die Stellen ohne Styrodurverbund sind mit B bezeichnet. SPK1 und SPK2 sind Spannkanäle, die hinter den Metallplatten liegen.

25 Die in den Fign. 6 und 7 angegebenen Rekonstruktionen sind Schnitte in einer Tiefe von etwa 10 cm, d.h. in der Tiefe der Oberkanten der Metallplatten von vorn gesehen. Die Styrodurplatten A befinden sich unter den Metallplatten und abhängig von den jeweiligen Dicken derselben in verschiedenen Tiefen. Wegen der Auflösung der Rekonstruktion sind Styrodurplatten A hinter den dünnen Blechen (Metallplatten) in der Ebene derselben zu sehen. Bei dicken Metallplatten sind
30 sie jedoch außerhalb des dargestellten Tiefenbereichs. Die Styrodurplatte im Bereich 3 ohne Metall-

platte ist bei der Fertigung aus der Lage verrutscht und befindet sich ebenfalls außerhalb des angezeigten Bereichs. Fig. 6 ist eine SAFT Rekonstruktion von Messdaten hinsichtlich der Amplitude an dem Betonteil
5 nach Fig. 5. In der Auswertung sind deutlich Echoanzeigen von Grenzflächen erkennbar. Genauere Aussagen über die Art der Grenzfläche, wie fest/fest oder fest/gasförmig (hier also Beton/Stahl oder Stahl/Lufteinschluss) können nicht getroffen werden.
10 Fig. 7 ist die Rekonstruktion hinsichtlich der Phase, wobei die Phase der reflektierten Impulse nun Aussagen über die Art der Grenzflächen ermöglicht. Dabei beruht die visuelle Erkennung auf einer Darstellung von unterschiedlichen Farben, die hier in
15 schwarz/weiß bzw. unterschiedlichen Grauwerten vorge-
sehen ist.

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Universität Kassel
077PCT 0782

5 Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren und Klassifizieren von Fehlstellen in Bauteilen mit folgenden Schritten:
10 Einstrahlen von impulsförmigen Ultraschallwellen aus elektrischen Sendeimpulsen an mehreren Stellen der Oberfläche des zu untersuchenden Bauteils,
Aufnahmen der reflektierten Ultraschallwellen an
15 mehreren Stellen der Oberfläche zur Erzeugung einer Mehrzahl von elektrischen Empfangssignalen,
Analysieren und Auswerten der hochfrequenten elektrischen Empfangssignale unter Heranziehung
20 der Positionen der Stellen der eingestrahnten Ultraschallwellen und der aufgenommenen reflektierten Schallwellen zur Erzeugung einer dreidimensionalen Ortsverteilung der Streueigenschaften des Bauteils,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass zusätzlich zur Amplitudeninformation die Phaseninformation des Streuvorgangs ermittelt und der dreidimensionalen Ortsverteilung der Streueigenschaften des Bauteils zugeordnet wird,
30 wobei zur Detektion der Fehlstellen die Amplitudeninformation und zur Klassifikation die Amplitudeninformation und die Phaseninformation der dreidimensionalen Ortsverteilung herangezogen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Einstrahlen und Aufnehmen von Ultraschallwellen in einem dichten Raster auf der Oberfläche des Bauteils durchgeführt wird.
- 5 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitudeninformation und die Phaseninformation der mit Hilfe eines 3D-Abbildungsverfahrens, wie des 3D-SAFT-Algorithmus, gewonnenen dreidimensionalen Ortsverteilung der Streueigenschaften analysiert und
10 ausgewertet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass aus der dreidimensionalen Ortsverteilung der Streueigenschaften
15 Schnitte und Projektionen bildlich dargestellt werden, wobei die Amplitudeninformation und die Phaseninformation jeweils farblich oder in Graustufen in den Darstellungen der Schnitte und Projektionen enthalten sind.
- 20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyse mittels vorzeichenbehafteter B-Bilder und C-Bilder durchgeführt wird.
- 25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass Verpressfehlern in Spannkanälen und/oder Verdichtungsmängeln und Kiesnester in Betonbauteilen detektiert und klassifiziert werden.

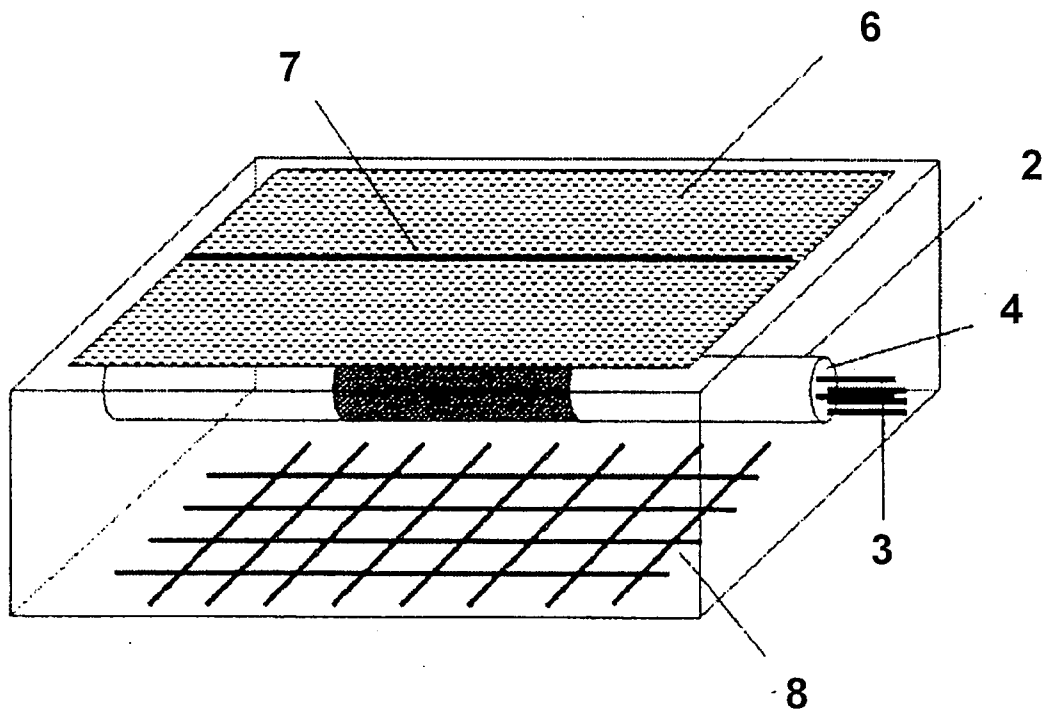


Fig. 1

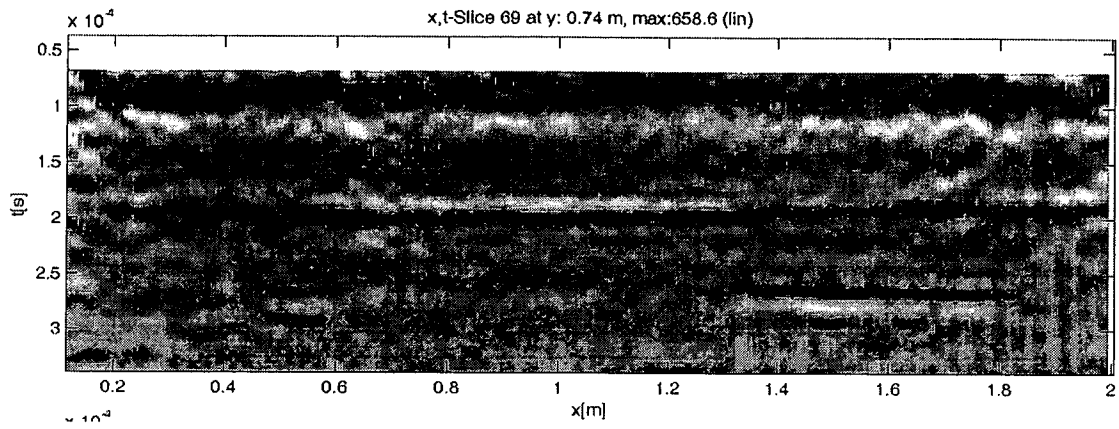


Fig. 2

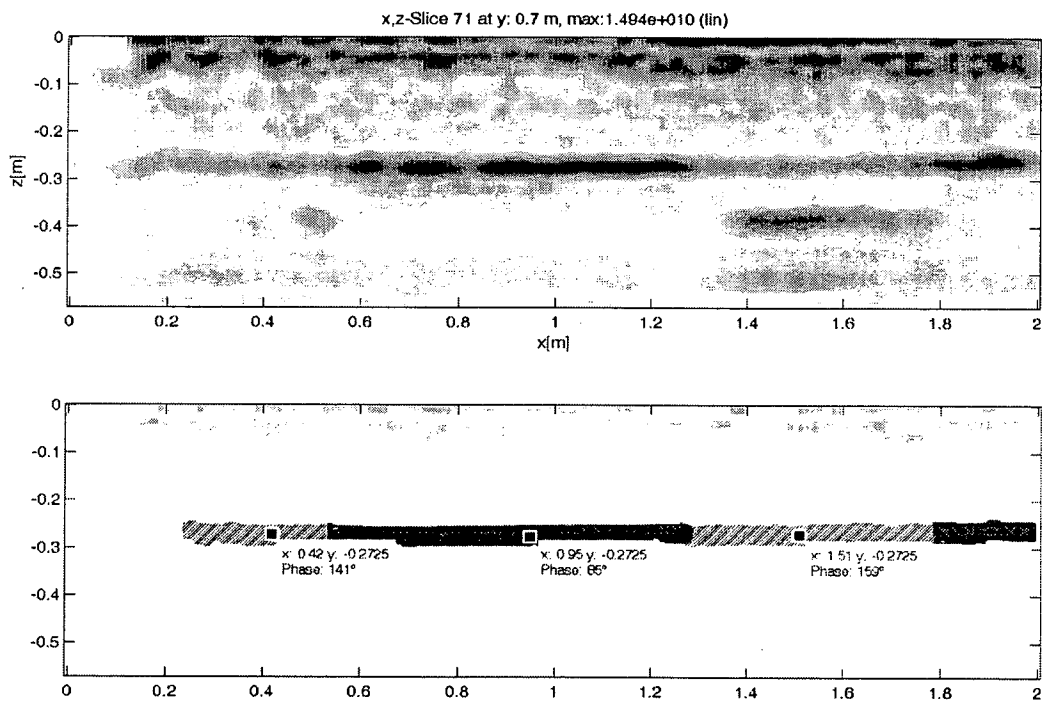


Fig. 3

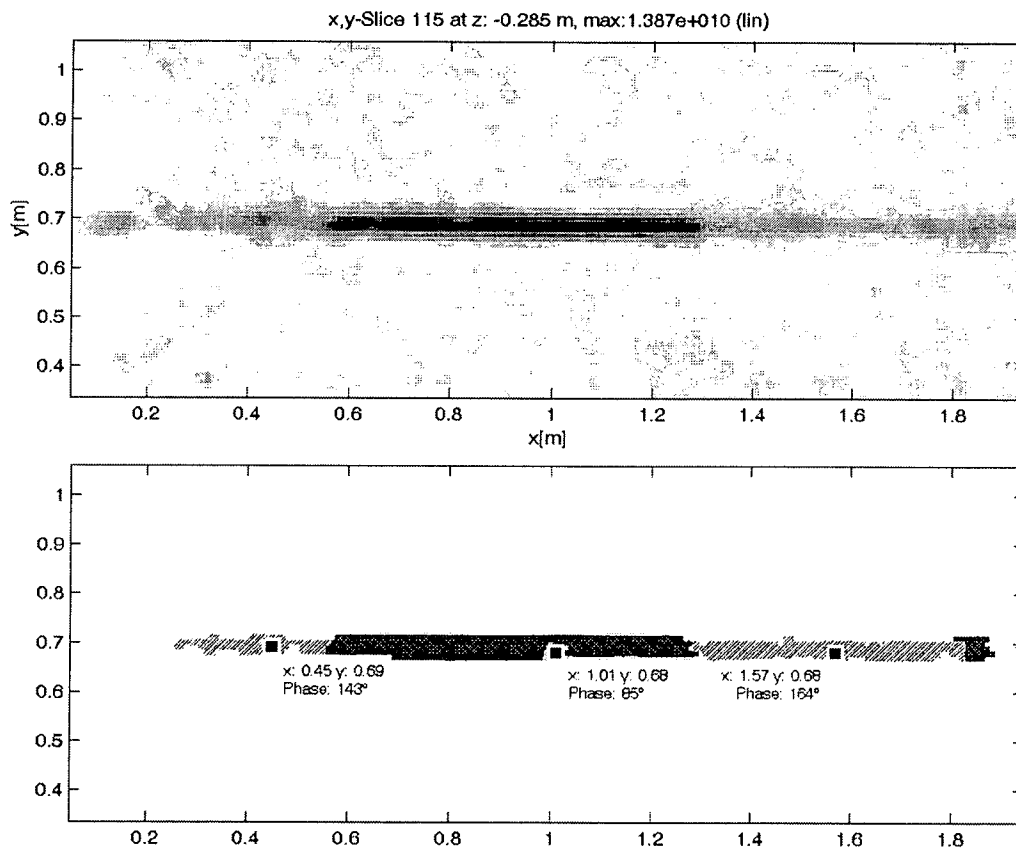


Fig. 4

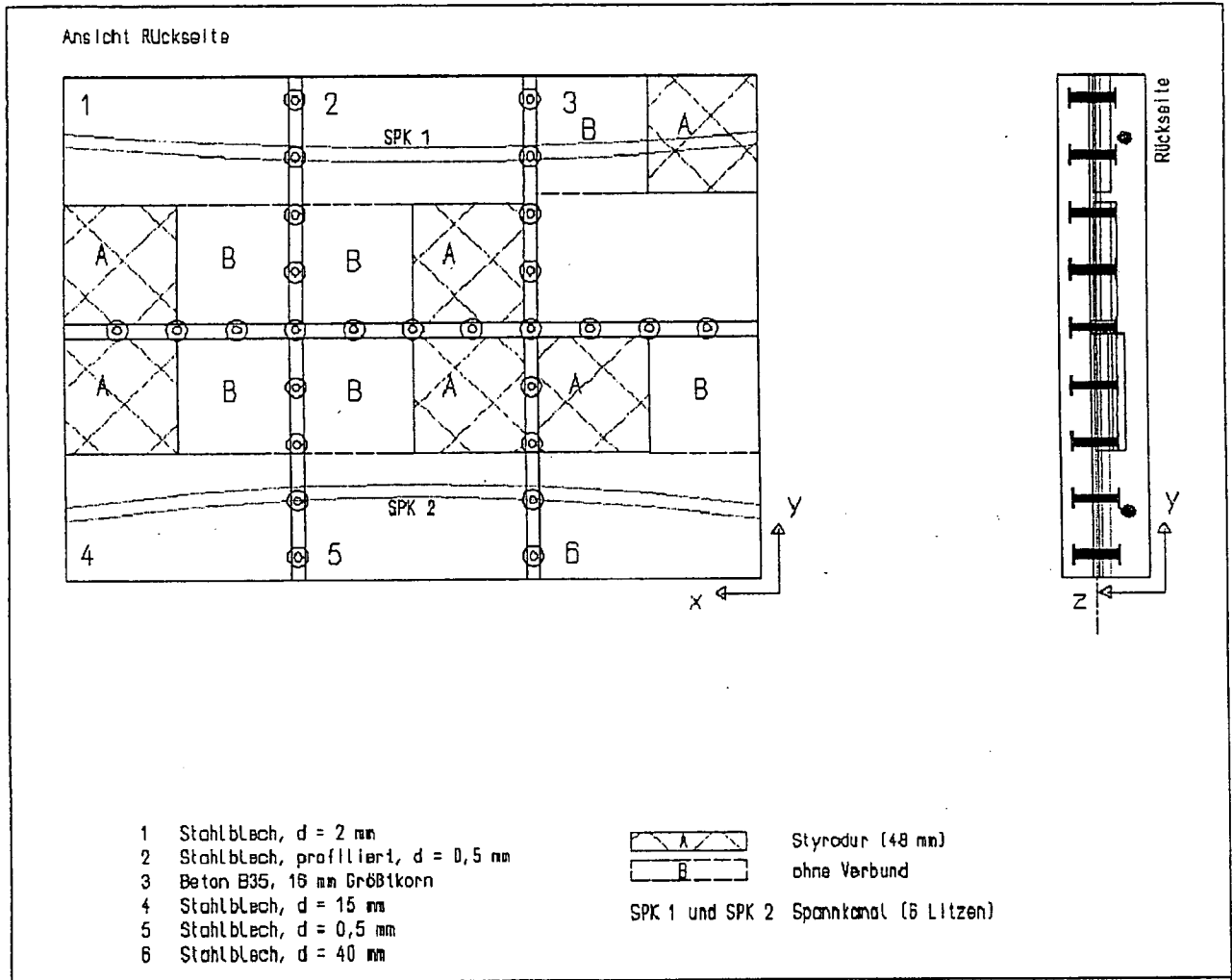


Fig. 5

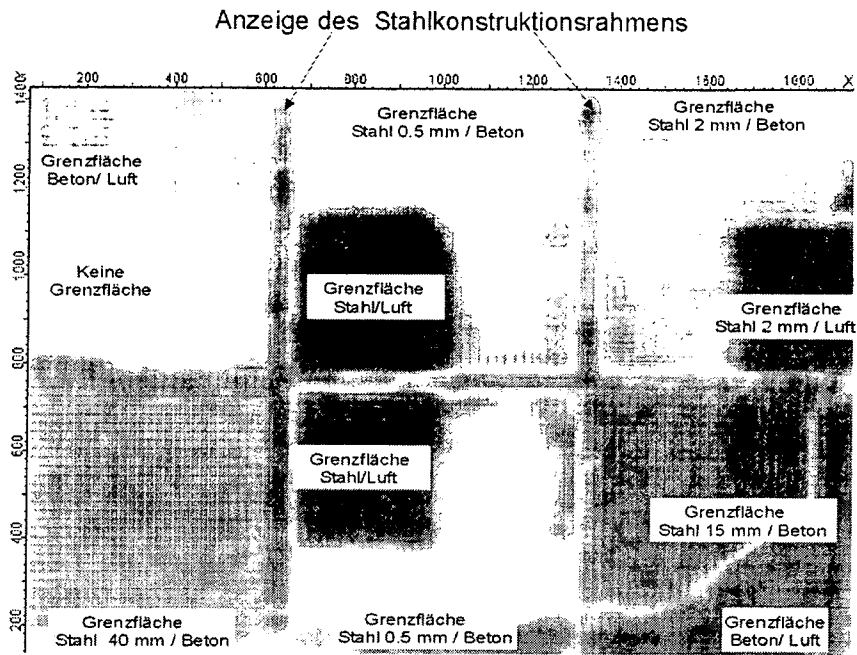


Fig. 6

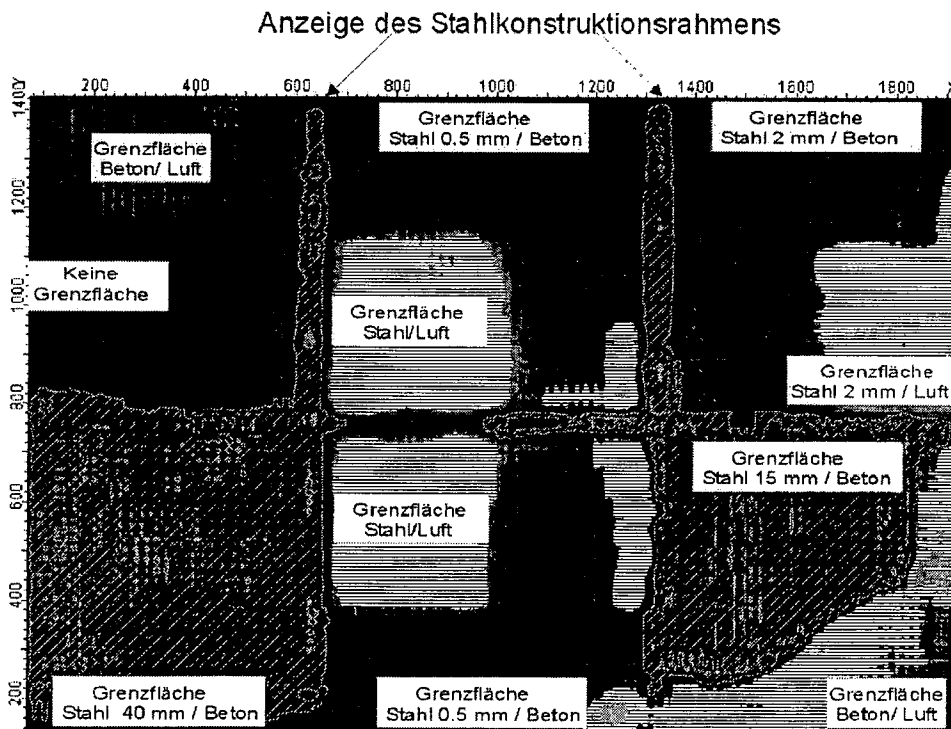


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/005029

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV. G01N29/06	G01N29/07	G01N29/11
G01N33/38	G01S7/52	G01S15/89
G01N29/34	G01N29/44	
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 G01S		
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, COMPENDEX, WPI Data, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 01/86281 A (ACOUSTICAL TECH SG PTE LTD [SG]; GAN WOON SIONG [SG]) 15 November 2001 (2001-11-15) abstract; figures 1-4,8-16 page 1, column 3 - page 22, column 5	1-5
X	US 4 597 292 A (FUJII TADASHI [JP] ET AL) 1 July 1986 (1986-07-01) abstract; claim 1; figures 1-11c column 1, line 6 - column 19, line 62	1,2
----- -/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*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)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>*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</p> <p>*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</p> <p>*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.</p> <p>*Z* document member of the same patent family</p> </div> </div>		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
31 August 2007	17/09/2007	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Uttenthaler, Erich	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/005029

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>SCHICKERT MARTIN ET AL: "Ultrasonic imaging of concrete elements using reconstruction by synthetic aperture focusing technique" JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING, AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, MATERIALS ENGINEERING DIV, US, vol. 15, no. 3, 1 June 2003 (2003-06-01), pages 235-246, XP009088756 ISSN: 0899-1561 cited in the application the whole document</p>	1-6
A	<p>WO 82/02781 A (ALASAARELA ESKO) 19 August 1982 (1982-08-19) abstract page 5, line 3 - line 24</p>	1
A	<p>OTTO KROGGEL, JAN SCHERZER, REINHARD JANSOHN: "THE DETECTABILITY OF IMPROPER FILLED DUCTS WITH ULTRASOUND REFLECTION TECHNIQUES" NDT.NET, [Online] vol. 7, March 2003 (2003-03), XP002448775 Retrieved from the Internet: URL:http://www.ultrasonic.de/article/v07n0 3/kroggel/kroggel.htm> [retrieved on 2007-08-30] cited in the application the whole document</p>	1-6
A	<p>MARTIN KRAUSE, FRANK MIELENTZ, BORIS MILMANN, DOREEN STREICHER: "ULTRASONIC IMAGING OF CONCRETE ELEMENTS: STATE OF THE ART USING 2D SYNTHETIC APERTURE" NDT-CE 2003, [Online] 2003, XP002448776 Retrieved from the Internet: URL:http://www.ndt.net/article/ndtce03/pap ers/v051/v051.htm> [retrieved on 2007-08-30] cited in the application the whole document</p>	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/005029

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0186281	A	15-11-2001	AU 5285301	A 20-11-2001
			GB 2363306	A 12-12-2001
			GB 2373329	A 18-09-2002
			TW 475982	B 11-02-2002
			US 2003101820	A1 05-06-2003
US 4597292	A	01-07-1986	DE 3584117	D1 24-10-1991
			EP 0168565	A1 22-01-1986
			JP 61011658	A 20-01-1986
WO 8202781	A	19-08-1982	DE 3272962	D1 09-10-1986
			EP 0083584	A1 20-07-1983
			FI 810368	A 10-08-1982
			JP 58500495	T 31-03-1983

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2007/005029

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01N29/06 G01N29/07 G01N29/11 G01N29/34 G01N29/44
G01N33/38 G01S7/52 G01S15/89

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01N G01S

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, COMPENDEX, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 01/86281 A (ACOUSTICAL TECH SG PTE LTD [SG]; GAN WOON SIONG [SG]) 15. November 2001 (2001-11-15) Zusammenfassung; Abbildungen 1-4, 8-16 Seite 1, Spalte 3 - Seite 22, Spalte 5	1-5
X	US 4 597 292 A (FUJII TADASHI [JP] ET AL) 1. Juli 1986 (1986-07-01) Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildungen 1-11c Spalte 1, Zeile 6 - Spalte 19, Zeile 62	1, 2
	----- -/--	



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 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

31. August 2007

Absenddatum des Internationalen Recherchenberichts

17/09/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Uttenthaler, Erich

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>SCHICKERT MARTIN ET AL: "Ultrasonic imaging of concrete elements using reconstruction by synthetic aperture focusing technique" JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING, AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, MATERIALS ENGINEERING DIV, US, Bd. 15, Nr. 3, 1. Juni 2003 (2003-06-01), Seiten 235-246, XP009088756 ISSN: 0899-1561 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument</p>	1-6
A	<p>WO 82/02781 A (ALASAARELA ESKO) 19. August 1982 (1982-08-19) Zusammenfassung Seite 5, Zeile 3 - Zeile 24</p>	1
A	<p>OTTO KROGGEL, JAN SCHERZER, REINHARD JANSOHN: "THE DETECTABILITY OF IMPROPER FILLED DUCTS WITH ULTRASOUND REFLECTION TECHNIQUES" NDT.NET, [Online] Bd. 7, März 2003 (2003-03), XP002448775 Gefunden im Internet: URL:http://www.ultrasonic.de/article/v07n0 3/kroggel/kroggel.htm> [gefunden am 2007-08-30] in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument</p>	1-6
A	<p>MARTIN KRAUSE, FRANK MIELENTZ, BORIS MILMANN, DOREÉN STREICHER: "ULTRASONIC IMAGING OF CONCRETE ELEMENTS: STATE OF THE ART USING 2D SYNTHETIC APERTURE" NDT-CE 2003, [Online] 2003, XP002448776 Gefunden im Internet: URL:http://www.ndt.net/article/ndtce03/pap ers/v051/v051.htm> [gefunden am 2007-08-30] in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument</p>	1-6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/005029

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0186281	A	15-11-2001	
		AU 5285301 A	20-11-2001
		GB 2363306 A	12-12-2001
		GB 2373329 A	18-09-2002
		TW 475982 B	11-02-2002
		US 2003101820 A1	05-06-2003
US 4597292	A	01-07-1986	
		DE 3584117 D1	24-10-1991
		EP 0168565 A1	22-01-1986
		JP 61011658 A	20-01-1986
WO 8202781	A	19-08-1982	
		DE 3272962 D1	09-10-1986
		EP 0083584 A1	20-07-1983
		FI 810368 A	10-08-1982
		JP 58500495 T	31-03-1983