



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 30 749 T2** 2004.04.29

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 719 520 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 30 749.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 120 150.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **20.12.1995**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.07.1996**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **14.05.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.04.2004**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **A61B 8/08**  
**G01N 29/18**

(30) Unionspriorität:

**31972194      22.12.1994      JP**

(73) Patentinhaber:

**Aloka Co. Ltd., Mitaka, Tokio/Tokyo, JP**

(74) Vertreter:

**Weber & Heim Patentanwälte, 81479 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB, IT, NL**

(72) Erfinder:

**Ohtomo, Naoki, Mitaka-shi, Tokyo, 181, JP**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Gewebe**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****BEREICH DER ERFINDUNG**

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Beurteilung von Gewebe, zum Beurteilen des Zustands von Gewebe, wie Knochen, unter Verwendung von Ultraschall, und insbesondere auf die Messung der Geschwindigkeit des sich im Gewebe ausbreitenden Ultraschalls.

**BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK**

[0002] Bei einer Messvorrichtung für Gewebe, die Ultraschall verwendet, wird Ultraschall in einen Teil des Organismus gesendet (z. B. die Ferse) und der hindurchgetretene oder von dem Organismus reflektierte Ultraschall wird empfangen. Auf Grundlage eines Signals, das von dem empfangenen Ultraschall erhalten wird, wird die Schallgeschwindigkeit in dem Gewebe oder der Grad der Schwächung des Ultraschalls durch das Gewebe als Indikator des Zustands des Gewebes berechnet. Ein Beispiel einer solchen Vorrichtung ist eine Vorrichtung zur Beurteilung von Knochen, die zum Untersuchen beispielsweise des Fersenbeins oder Calcaneus verwendet wird. Zusätzlich zu Vorrichtungen zur Beurteilung von Gewebe, die nur Ultraschall verwenden, sind außerdem andere Vorrichtungen vorgeschlagen worden, die sowohl Ultraschall als auch Röntgenstrahlung verwenden.

[0003] Es ist jedoch bekannt, dass wenn eine Gewebebeurteilung durch Ultraschall durchgeführt wird, es nicht möglich ist, eine präzise Messung oder Beurteilung der Geschwindigkeit oder Abschwächung des Ultraschalls zu erhalten, wenn in dem Weg von dem abstrahlenden Ultraschall-Messwandler bis zu dem Empfangs-Ultraschall-Messwandler eine Luftschicht vorhanden ist. Dies liegt an der Tatsache, dass der Ultraschall durch die Luftschicht reflektiert oder abgeschwächt wird. Um die Luftschicht, die Ultraschalluntersuchungen stört, zu beseitigen, wurden daher die Probe (Gewebe) und Ultraschall-Messwandler herkömmlich in ein Messbad eingetaucht, welches ein Akustikanpassmaterial, wie Wasser enthält, und durch Senden und Empfangen des Ultraschalls durch dieses Material wurden vorbestimmte Messungen ausgeführt.

[0004] Jedoch ist das Verfahren, bei dem die Probe in ein Akustikanpassmaterial eingetaucht wird, für die Person gelegentlich unbequem und es ist schwierig, sicherzustellen, dass das Messverfahren hygienisch ist.

[0005] In der japanischen Patentanmeldung Nr. HEI-6-7010 (Japanische Offenlegungsschrift Nr. HEI-7-204205) schlägt der Anmelder eine Vorrichtung zur Beurteilung von Gewebe vor, welche diese Probleme löst. Bei dieser Vorrichtung ist die Vorderseite des Ultraschall-Messwandlers mit einer Abdeckung (oder Membran) bedeckt, die sich verformen

kann. Die Abdeckung ist mit einem Akustikanpassmaterial gefüllt und die Abdeckung wird mit der Probe in Berührung gebracht. Mit anderen Worten wird die Probe zwischen den beiden sich gegenüberstehenden Ultraschall-Messwandlern gehalten und die Ausbreitungszeit des Ultraschalls zwischen den beiden Messwandlern wird gemessen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschalls in der Probe, das heißt in dem Gewebe, wird dann durch Division des Abstands zwischen den Messwandlern durch diese Ausbreitungszeit ermittelt. Gemäß diesem Verfahren kommt die verformbare Abdeckung leicht in Berührung mit der Oberfläche der Probe, so dass keine Luftschicht zwischen den Messwandlern und der Probe vorhanden ist.

[0006] Bei diesem Stand der Technik entsteht jedoch insofern ein Problem, als bei Änderung der Umgebungsbedingungen, insbesondere der Temperatur oder des Luftdrucks, während einer Messung, sich die Eigenschaften des Akustikanpassmaterials ebenfalls ändern und Fehler der gemessenen Werte bewirken.

[0007] Bei diesem Stand der Technik umfasst der Abstand, der zur Berechnung der Schallgeschwindigkeit in dem Probengewebe benutzt wird, die Dicke des Akustikanpassmaterials, und die Zeit, die zur Berechnung der Schallgeschwindigkeit in dem Probengewebe benutzt wird, umfasst die Zeit, die der Ultraschall benötigt, um sich durch das Akustikanpassmaterial auszubreiten. Deshalb kann der Wert der erhaltenen Schallgeschwindigkeit selbst für dieselbe Probe unterschiedlich sein, wenn sich die Eigenschaften des Anpassmaterials aufgrund einer Veränderung der Messbedingungen ändern. Weiter besteht, wenn die Schallgeschwindigkeit einen Fehler aufweist, die Möglichkeit, dass bei anderen Beurteilungswerten, die aus der Schallgeschwindigkeit berechnet werden, ein Fehler entsteht.

[0008] Wenn beispielsweise Rizinusöl als Akustikanpassmaterial benutzt wird und die Temperatur des Öls sich um 1°C im Bereich der Zimmertemperatur ändert, ändert sich die Schallgeschwindigkeit in dem Öl um etwa 3 m/s. Daher entsteht, wenn beispielsweise bei der oben erwähnten Vorrichtung die Dicke des Rizinusöls etwa 4 cm ist und die Dicke der Probe etwa 6 cm beträgt, und sich die Temperatur des Öls um etwa 1°C verändert, ein Fehler von etwa 1,2 m/s in dem gemessenen Ergebnis für die Schallgeschwindigkeit in der Probe.

[0009] Wenn sich eine Luftblase unter das Akustikanpassmaterial in der Abdeckung der vorgenannten Vorrichtung mischt, entstehen weitere Probleme. Die Luftblase dehnt sich in diesem Fall aus oder zieht sich zusammen, wenn sich der atmosphärische Druck der Messumgebung ändert. Die Verformung der auf die Probe drückenden Abdeckung ändert sich daher aufgrund des atmosphärischen Drucks und folglich ändert sich die durchschnittliche Dicke des Akustikanpassmaterials. Dies führt zu Fehlern in dem gemessenen Wert der Schallgeschwindigkeit.

[0010] Die Dicke des Akustikanpassmaterials ändert sich auch, wenn das Material aus der Abdeckung aufgrund langer Nutzungszeiträume ausläuft.

[0011] Der Teil der Abdeckung, der mit dem Gewebe in Berührung ist, weist eine hervorragende Durchlässigkeit für Ultraschall auf und wird aus einem dünnen Film, wie beispielsweise einer Polyurethan-Folie, die hoch flexibel ist, gebildet. Bei Benutzung über lange Zeiträume ändert sich jedoch die Flexibilität der Abdeckung, so dass der Grad, bis zu welchem die Abdeckung verformt wird, sich sogar bei Druck gegen die Probe mit demselben Druck ändert. Dies bewirkt auch, dass die Dicke des Akustikanpassmaterials variiert und führt zu Fehlern des gemessenen Ergebnisses für die Schallgeschwindigkeit.

[0012] Im Allgemeinen sind die Schallgeschwindigkeiten in dem Akustikanpassmaterial und in dem Probengewebe nicht dieselben, so dass, wenn sich die durchschnittliche Dicke des Materials wegen einer Schwankung der Umgebungsbedingungen, langer Nutzungsperioden oder einer Veränderung der Flexibilität der Abdeckung bei der vorher erwähnten Technik veränderte, besteht ein Risiko, dass ein unterschiedliches Ergebnis für die Schallgeschwindigkeit erhalten wird, selbst wenn dieselben Proben gemessen wurden.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Die Erfindung wurde im Hinblick auf die vorgenannten Probleme getätigt. Sie bezweckt, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen der Geschwindigkeit des Schalls in Gewebe bereitzustellen, welche immer ein genaues Ergebnis für die Schallgeschwindigkeit unabhängig von den Umgebungsbedingungen liefert.

[0014] Um das vorgenannte Ziel zu erreichen, weist das erfindungsgemäße Verfahren zum Messen der Geschwindigkeit des Schalls die Merkmale des Anspruchs 1 auf.

[0015] Gemäß diesem Verfahren kann die Zeit, die der Ultraschall benötigt, um sich nur durch das Gewebe auszubreiten, aus der im Schritt (a) berechneten Ausbreitungszeit und der in Schritt (b) berechneten Ausbreitungszeit gefunden werden. Bei diesem Verfahren basiert die Schallgeschwindigkeit auf dieser Zeit und dem in (b) gefundenen Abstand zwischen den Messwandlern, folglich kann eine genaue Geschwindigkeit berechnet werden, welche von dem Zustand des Akustikanpassmaterials unbeeinflusst ist.

[0016] Gemäß diesem Verfahren kann die Schallgeschwindigkeit in dem Gewebe auch gefunden werden aus der Schallgeschwindigkeit in dem Anpassmaterial in Schritt (b), der in Schritt

(a) gemessenen Ausbreitungszeit und der Ausbreitungszeit und dem Abstand zwischen den Messwandlern, die in Schritt

(b) gemessen wurden. Dadurch werden Temperaturunterschiede des Akustikanpassmaterials von

Schritt (a) zu Schritt (b) korrigiert, so dass ein noch genauerer Wert für die Schallgeschwindigkeit in Gewebe gefunden werden kann.

[0017] Der Abstand zwischen den Messwandlern kann beispielsweise mit einem Laser-Entfernungsmesser gemessen werden. Im Allgemeinen wird für Laser-Entfernungsmesser ein effektiver Längenmessbereich angegeben. Daher wären, wenn ein großer Unterschied zwischen den in den Schritten (a) und (c) gemessenen Abstände zwischen den Messwandlern bestehen würde, zwei Typen von Laser-Entfernungsmessern notwendig, wodurch die Apparatur komplexer und teurer würde.

[0018] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Beurteilung von Gewebe weist die Merkmale von Anspruch 9 auf.

[0019] Gemäß dieser Vorrichtung kann die Schallgeschwindigkeit in dem Gewebe präzise gemessen werden auf Grundlage der in dem Speicher gespeicherten Ausbreitungszeit und den Messergebnissen von verschiedenen Instrumenten, ohne von dem Zustand des Akustikanpassmaterials beeinflusst zu sein.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] **Fig. 1** ist ein Diagramm, welches schematisch einen mechanischen Teil einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Beurteilung von Gewebe zeigt.

[0021] **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm, welches den Gesamtaufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Beurteilung von Gewebe zeigt.

[0022] **Fig. 3** ist ein Flussdiagramm, welches ein erstes Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Gewebe zeigt.

[0023] **Fig. 4** ist ein illustrierendes Diagramm, welches den Zustand der Vorrichtung zur Beurteilung von Gewebe in einem Vorbereitungsschritt gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel zeigt.

[0024] **Fig. 5** ist ein illustrierendes Diagramm, welches den Zustand der Vorrichtung zur Beurteilung von Gewebe in einem Messschritt gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel zeigt.

[0025] **Fig. 6** ist ein Flussdiagramm, welches eine Modifizierung des ersten Ausführungsbeispiels zeigt.

[0026] **Fig. 7** ist eine schematische Ansicht, welche die Struktur einer Messwandlereinheit mit einem Temperatursensor zeigt.

[0027] **Fig. 8** ist ein Flussdiagramm, welches ein zweites Ausführungsbeispiel des Verfahrens zum Messen der Schallgeschwindigkeit in Gewebe zeigt.

#### BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

##### Ausführungsbeispiel 1

[0028] **Fig. 1** ist ein Diagramm, welches einen typischen mechanischen Aufbau einer erfindungsgemä-

ßen Vorrichtung zur Beurteilung von Gewebe zeigt. [0029] In **Fig. 1** ist ein Paar von Messwandlereinheiten **10a**, **10b** so angeordnet, dass die Ultraschallmesswandler **12a**, **12b** einander gegenüber stehen. Die Messwandler **12a**, **12b** sind durch Messwandlerabdeckungen (oder Membranen) **14a**, **14b** bedeckt, von denen jede eine dünne Film aufweist, der flexibel und für Ultraschall transparent ist, so wie eine Polyurethan-Folie. Die von den Messwandlern **12a**, **12b** und den Messwandlermembranen **14a**, **14b** umschlossenen Volumina sind mit Akustikanpassmaterialien **16a**, **16b** gefüllt, von denen jedes eine Flüssigkeit, wie Rizinus-Öl, aufweist. Anschlussleitungen **20a**, **20b** führen jeweils von den Rückseiten der Messwandler **12a**, **12b** weg. Diese Anschlussleitungen **20a**, **20b** sind mit einer nicht gezeigten Messwandlersteuerung verbunden. Die Messwandler **12a**, **12b** und die Messwandlerabdeckungen **14a**, **14b** sind in den Messwandlergehäusen **18a**, **18b** untergebracht. Diese Messwandlergehäuse **18a**, **18b** werden jeweils von Armen **22a**, **22b** getragen.

[0030] Muttern **24a**, **24b**, die auf eine Vorschubspindel **30** geschraubt sind, sind an den unteren Enden der Arme **22a**, **22b** vorgesehen. Wenn sich die Vorschubspindel **30** dreht, bewegen sich die Arme **22a**, **22b** daher entlang der Vorschubspindel **30**. Die Arme **22a**, **22b** bewegen sich entweder aufeinander zu oder voneinander weg, abhängig von der Drehrichtung der Spindel **30**. Auf diese Weise kann der Abstand von der Messwandlereinheit **10a** zu der Messwandlereinheit **10b** variiert werden.

[0031] Daher kann durch Drehen eines Rades **34**, um die Spindel **30** in einer vorbestimmten Richtung zu drehen, eine Probe, wie eine Ferse eines Fußes, zwischen dem Paar von Messwandlereinheiten **10a**, **10b** gehalten werden. Bei der Vorrichtung aus **Fig. 1** ist ein Drehmomentbegrenzer **32** zwischen dem Rad **34** und der Spindel **30** vorgesehen, so dass, selbst wenn eine übermäßige Kraft auf das Rad **34** angewendet wird, die auf die Spindel **30** übertragene Kraft immer durch die Wirkung des Drehmomentbegrenzers begrenzt wird, so dass sie kleiner oder gleich wie ein vorbestimmter Wert ist. Aufgrund der Wirkung des Drehmomentbegrenzers **32** wird die Anwendung einer übermäßigen Kraft auf die Probe vermieden. Ein Laser-Abstandsmesser **26** ist auch auf dem Arm **22a** vorgesehen und eine reflektierende Scheibe **28**, die einen Laserstrahl von dem Laser-Abstandsmesser **26** reflektiert, ist auf dem Arm **22b** vorgesehen. Die Vorrichtung aus **Fig. 1** kann daher den Abstand zwischen den Messwandlern **12a**, **12b** mit Hilfe des Laser-Abstandsmessers **26** messen.

[0032] **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm, welches den gesamten Aufbau der Vorrichtung nach diesem Ausführungsbeispiel zeigt. Identischen Teilen wie diejenigen aus **Fig. 1** sind in **Fig. 2** dieselben Symbole zugewiesen und ihre Beschreibung wird weggelassen.

[0033] In der Figur ist der Sende-Messwandler **12a** mit einem Sendeverstärker **40** verbunden und der Empfangs-Messwandler **12b** ist mit einem Emp-

fangsverstärker **42** verbunden. Der Empfangsverstärker **42** ist mit einem A/D-Wandler **44** verbunden. Eine Messwandler-Steuereinheit **52** innerhalb einer Steuerung **50** steuert den Sendeverstärker **40**, so dass Ultraschallpulse von dem Messwandler **12a** gesendet werden. Die Messwandler-Steuereinheit **52** empfängt ein digitalisiertes Signal von dem A/D-Wandler **44** und eine vorbestimmte Signalverarbeitung wird an diesem empfangenen Signal durchgeführt.

[0034] Die Wirkung der Vorrichtung aus **Fig. 2** wird nun in weiteren Details beschrieben. Zunächst sendet die Messwandler-Steuereinheit **52** einen Trigger-Puls zu dem Sendeverstärker **40**. Wenn der Sendeverstärker **40** diesen Trigger-Impuls empfängt, wird ein vorbestimmter Antriebs-Puls erzeugt und dem Messwandler **12a** zugeführt. Der Messwandler **12a** wird durch diesen Antriebs-Puls, der von dem Sendeverstärker zugeführt wird, angetrieben und sendet einen Ultraschallpuls aus. Nachdem dieser Ultraschallpuls durch die Probe hindurchgetreten ist, wird er von dem Messwandler **12b** empfangen. Dieses schwache Empfangssignal unterläuft eine vorbestimmte Verstärkung durch den Empfangsverstärker **42**. Das Empfangssignal wird nach Verstärkung durch den A/D-Wandler **44** digitalisiert und der Messwandler-Steuereinheit **52** innerhalb der Steuerung **50** zugeführt. Die Messwandler-Steuereinheit **52** weist eine Ausbreitungszeit-Messeinheit **54** auf, welche unter Verwendung der Trigger-Puls-Zeitaufnahme und des empfangenen Signals gemäß einem im Stand der Technik bekannten Verfahren die Zeit berechnet, die der Ultraschall benötigt, um sich von dem Messwandler **12a** zu dem Messwandler **12b** auszubreiten ("Ausbreitungszeit"). Zusätzlich zu dieser Ausbreitungszeit berechnet die Messwandler-Steuereinheit **52** auch den Grad der Abschwächung des Ultraschalls unter Verwendung des Empfangssignals und anderer Informationen.

[0035] Die Steuerung **50** weist eine Abstandsmesser-Steuereinheit **56** auf. Die Abstandsmesser-Steuereinheit **56** steuert den Laser-Abstandsmesser **26**, um den Abstand zwischen den Messwandlern **12a**, **12b** zu bestimmen.

[0036] Die Steuerung **50** weist weiterhin eine Geschwindigkeits-Berechnungseinheit **58** und einen Speicher **60** auf. Die von der Ausbreitungszeit-Messeinheit **54** gefundene Ausbreitungszeit und der von der Abstandsmesser-Steuereinheit **56** gefundene Messwandler-Abstand werden der Geschwindigkeits-Berechnungseinheit **58** eingegeben. Die Geschwindigkeits-Berechnungseinheit **58** berechnet die Schallgeschwindigkeit in dem Probengewebe unter Verwendung dieser eingegebenen Daten. Bei der Berechnung der Schallgeschwindigkeit durch die Geschwindigkeits-Berechnungseinheit **58** verwendete Zwischendaten werden in dem Speicher **60** gespeichert. Die gefundene Schallgeschwindigkeit wird verwendet als ein Wert zum Beurteilen des Probengewebes und wird zusammen mit anderen Beurtei-

lungswerten verwendet, um neue Beurteilungswerte zu berechnen.

[0037] Ein erstes Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zum Messen der Schallgeschwindigkeit in einem Probengewebe durch die in den **Fig. 1** und **2** gezeigte Vorrichtung wird nun beschrieben.

[0038] **Fig. 3** ist ein Flussdiagramm, welches das Verfahren des ersten Ausführungsbeispiels zeigt.

[0039] Wie aus der **Fig. 3** ersichtlich, kann das Verfahren des ersten Ausführungsbeispiels grob in drei Stufen, d. h. einen Vorbereitungsschritt, einen Messschritt und einen Berechnungsschritt, unterteilt werden.

[0040] Zuerst dreht bei dem Vorbereitungsschritt eine Bedienperson das Rad **34**, so dass das Paar von Messwandlereinheiten **10a**, **10b** sich aufeinander zu bewegt und die Messwandler-Abdeckungen (oder Membranen) **14a**, **14b** einander berühren. Die Bedienperson erhöht dann die auf das Rad **34** angewandte Kraft, bis der Drehmomentbegrenzer **32** arbeitet, so dass die Messwandler-Abdeckungen mit einer vorbestimmten, durch den Drehmomentbegrenzer **32** festgesetzten Kraft aufeinander gepresst werden (S102). **Fig. 4** zeigt den Zustand der Vorrichtung dieses Ausführungsbeispiels zu diesem Zeitpunkt. Wie nachstehend beschrieben wird, wird auf das Rad **34** Kraft angewendet, bis der Drehmomentbegrenzer **32** wie in S102 arbeitet, wenn die Probe zwischen den Messwandlereinheiten bei dem Messschritt gehalten wird. Daher ist, da die angewendete und von den Messwandlereinheiten bei dem Vorbereitungsschritt und dem Messschritt aufrechterhaltene Kraft im Wesentlichen dieselbe ist, der Grad der Verformung der Abdeckungen **14a**, **14b**, d. h. die Dicke der Akustikanpassmaterialien **16a**, **16b** auch im Wesentlichen dieselbe.

[0041] Als Nächstes wird die Ausbreitungszeit  $t_1$  des Ultraschalls zwischen den Messwandlern **12a**, **12b** gemessen (S104). Ein Ultraschallpuls wird von dem Messwandler **12a** in dem in

[0042] **Fig. 4** gezeigten Zustand gesendet und nach Durchtritt durch die Akustikanpassmaterialien **16a**, **16b** wird der Puls von dem Messwandler **12b** empfangen. Die Ausbreitungszeit  $t_1$  des Ultraschalls wird durch die Ausbreitungszeit-Messeinheit **54** unter Verwendung des Empfangsergebnisses berechnet. Diese Ausbreitungszeit  $t_1$  ist die Zeit, die der Ultraschall benötigt, um sich durch die Schichten des Akustikanpassmaterials **16a**, **16b** auszubreiten und sie wird dem Speicher **60** über die Geschwindigkeits-Berechnungseinheit **58** zugeführt.

[0043] Wenn die Messung der Ausbreitungszeit  $t_1$  abgeschlossen ist, dreht die Bedienperson das Rad **34** in der zu dem Schritt S102 entgegengesetzten Richtung, um vorübergehend den Abstand zwischen den Messwandlern zu erweitern.

[0044] Als Nächstes wird in dem Messschritt, wie in **Fig. 5** gezeigt, eine Probe **70** zwischen den Messwandlereinheiten **10a**, **10b** angeordnet. Wie in dem Schritt S102, erhöht die Bedienperson die auf das

Rad **34** angewendete Kraft bis der Drehmomentbegrenzer **32** arbeitet, um die Messwandlerabdeckungen **14a**, **14b** mit einer vorbestimmten, durch den Drehmomentbegrenzer **32** festgesetzten Kraft gegen die Probe **70** zu pressen (S106).

[0045] Als Nächstes wird in dem in **Fig. 5** gezeigten Zustand Ultraschall gesendet und empfangen, eine Ausbreitungszeit  $t_2$  des Ultraschalls wird gemessen und gleichzeitig wird der Abstand zwischen den Messwandlern **12a**, **12b** unter Verwendung des Laser-Abstandsmesser **26** gemessen (S108).

[0046] In dem nachfolgenden Berechnungsschritt wird eine Durchgangszeit  $t$ , die der Ultraschall benötigt, um sich durch die Probe **70** auszubreiten, zuerst aus der in dem Schritt S108 gefundenen Ausbreitungszeit  $t_2$  des Messschritts und der in dem Speicher **60** gespeicherten Ausbreitungszeit  $t_1$  des Vorbereitungsschritts berechnet unter Verwendung der folgenden Beziehung (S110):

$$t = t_2 - t_1 \quad (1)$$

[0047] Gemäß diesem ersten Ausführungsbeispiel ist wegen der Verwendung des Drehmomentbegrenzers der auf die Messwandlerabdeckungen (oder Membranen) und die Schichten des Akustikanpassmaterials angewendete Druck bei dem Vorbereitungsschritt und dem Messschritt im Wesentlichen derselbe. Folglich können die Dicken des Akustikanpassmaterials in beiden Schritten als im Wesentlichen dieselben angesehen werden. Es kann weiterhin in Betracht gezogen werden, dass die beim Vorbereitungsschritt gefundene Ausbreitungszeit  $t_1$  des Ultraschalls in der Schicht des Akustikanpassmaterials als die Ausbreitungszeit des Ultraschalls in dem Akustikanpassmaterial bei dem Messschritt genommen werden kann. Durch Subtraktion der beim Vorbereitungsschritt gefundenen Ausbreitungszeit  $t_1$  von der bei dem Messschritt gefundenen Ausbreitungszeit  $t_2$  kann die Zeit  $t$ , welche der Ultraschall benötigt, um durch das Probengewebe hindurchzutreten, gefunden werden.

[0048] Bei diesem Ausführungsbeispiel kann die Schallgeschwindigkeit  $V$  in dem Probengewebe unter Verwendung dieser Durchgangszeit  $t$  und eines bei dem Schritt S108 gefundenen Messwandlerabstands  $L_2$  des Messschritts aus der folgenden Beziehung (2) gefunden werden (S112):

$$V = L_2/t \quad (2)$$

[0049] Gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel ist die Ausbreitungszeit  $t_1$  in der Schicht des Akustikanpassmaterials von der Schallgeschwindigkeit in dem Probengewebe ausgeschlossen. Ein akkurater, von Geschwindigkeitsschwankungen in dem Akustikanpassmaterial aufgrund von Temperaturschwankungen unbeeinflusster Wert  $V$  für die Schallgeschwindigkeit in dem Probengewebe kann daher erhalten werden.

[0050] Das folgende Verfahren ist eine Modifizierung des ersten Ausführungsbeispiels.

[0051] **Fig. 6** ist ein Flussdiagramm, welches das bei dieser Modifizierung durchgeführte Verfahren zeigt. In **Fig. 6** sind Schritten, welche dasselbe Verfahren wie in **Fig. 3** bezeichnen, dieselben Symbole zugewiesen und ihre Beschreibung wird weggelassen. Bei dieser Modifizierung wird ein Messwandlerabstand  $L_1$  durch den Laser-Abstandsmesser **26** zur selben Zeit wie die Ausbreitungszeit  $t_1$  zwischen den Messwandlern bei dem Vorbereitungsschritt gemessen (S102a). Bei dem Berechnungsschritt wird die Schallgeschwindigkeit  $V$  in dem Probengewebe durch die folgende Beziehung (2a) gefunden (S112a):

$$V = (L_2 - L_1)/t \quad (2a)$$

[0052] In diesem Fall gibt der Messwandlerabstand  $L_1$  die Dicke der Schicht des Akustikanpassmaterials an, so dass die Dicke der Gewebeprobe allein gefunden werden kann durch Subtraktion von  $L_1$  von dem Messwandlerabstand  $L_2$ . Einen genaueren Wert für die Schallgeschwindigkeit  $V$  in dem Probengewebe kann dann gefunden werden durch Dividieren der Dicke ( $L_2 - L_1$ ) des Probengewebes alleine durch die Zeit  $t$ , die der Ultraschall benötigt, um sich durch das Probengewebe allein auszubreiten.

[0053] Obiges ist eine Beschreibung des ersten Ausführungsbeispiels und einer Modifizierung des ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung. Die bei diesem Ausführungsbeispiel gefundene Schallgeschwindigkeit  $V$  in dem Probengewebe kann selbst als ein Beurteilungswert des Probengewebes benutzt werden oder es kann in Verbindung mit anderen Beurteilungswerten benutzt werden, um neue Beurteilungswerte zu berechnen. Z. B. kann Ultraschall in Verbindung mit Röntgenstrahlung benutzt werden. Eine durch Röntgenstrahlungsmessung gefundene Knochenmineraldichte kann mit der gemäß diesem Ausführungsbeispiel bestimmten Schallgeschwindigkeit kombiniert werden, um den Elastizitätsmodul des Knochens zu berechnen, der auch als ein Beurteilungswert benutzt werden kann.

[0054] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird ein Laser-Abstandsmesser benutzt, um den Abstand der Messwandler zu messen, jedoch ist die Erfindung auf diese Anordnung nicht beschränkt und es ist möglich, auch mechanische Mittel, wie beispielsweise eine Kodiereinrichtung, zu benutzen.

[0055] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel werden die Messwandlereinheiten durch Drehen des Rads **34** bewegt, jedoch kann die Vorschubspindel **30** alternativ durch einen Motor gedreht werden, um die Messwandlereinheiten zu bewegen.

[0056] Es wurden hier ein Vorbereitungsschritt, ein Messschritt und ein Berechnungsschritt als nacheinander ausgeführt beschrieben, jedoch ist es nicht notwendig, dass der Vorbereitungsschritt, der Messschritt (und Berechnungsschritt) nacheinander aus-

geführt werden. Mit anderen Worten reicht es aus, wenn der Vorbereitungsschritt regelmäßig durchgeführt wird, so wie einmal am Tag oder einmal in der Woche. In diesem Fall werden die bei dem Vorbereitungsschritt gefundene Ausbreitungszeit  $t_1$  und der Messwandler-Abstand  $L_1$  gespeichert, wobei nur der Messschritt durchgeführt wird, um unterschiedliche Proben zu untersuchen. Es ist natürlich klar, dass die ganze Schrittabfolge von dem Vorbereitungsschritt zu dem Messschritt und Berechnungsschritt auch durchgeführt werden können, wenn unterschiedliche Proben untersucht werden.

## Ausführungsbeispiel 2

[0057] Als Nächstes wird ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Messen der Schallgeschwindigkeit in Gewebe beschrieben. Dieses zweite Ausführungsbeispiel berücksichtigt Temperaturschwankungen der Akustikanpassmaterialien **16a**, **16b**, um einen noch präziseren Wert für die Schallgeschwindigkeit in Gewebe zu finden.

[0058] Bei dem Messschritt kann, wenn die Probe für einen langen Zeitraum zwischen dem Paar von Messwandlern gehalten wird, die Temperatur der Akustikanpassmaterialien **16a**, **16b** stark von der Temperatur (der Akustikanpassmaterialien) bei dem Vorbereitungsschritt abweichen wegen des Effekts der Temperatur der Probe selbst. In solch einem Fall ist die Schallgeschwindigkeit in den Akustikanpassmaterialien bei dem Vorbereitungsschritt und dem Messschritt verschieden. In diesem Fall kann daher die in dem Vorbereitungsschritt gemessene Ausbreitungszeit des Ultraschalls nicht als die Zeit angesehen werden, die die Welle bei dem Messschritt benötigt, um sich durch die Schichten des Akustikanpassmaterials auszubreiten.

[0059] Gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel ist ein Temperatursensor **19** in der Messwandlereinheit **10a** vorgesehen, um die Temperatur des Akustikanpassmaterials **16a**, wie in **Fig. 7** gezeigt, zu messen, und eine genauere Schallgeschwindigkeit in dem Probengewebe wird unter Verwendung des Messergebnisses dieses Sensors **19** berechnet. Abgesehen von dem Temperatursensor **19** ist der Aufbau der bei dem zweiten Ausführungsbeispiel verwendeten Vorrichtung derselbe wie der in **Fig. 1** und **Fig. 2** gezeigte. Das Ausgabesignal des Temperatursensors **19** wird der Steuerung **50** aus **Fig. 2** eingegeben. Die Steuerung **50** berechnet die Temperatur des Akustikanpassmaterials **16a** aus dem von dem Temperatursensor **19** ausgegebenen Signal und gibt diese Temperatur der Geschwindigkeitsberechnungseinheit **58** ein. Der von der Einheit **58** verwendete Berechnungsschritt bei diesem Ausführungsbeispiel wird nachstehend beschrieben. Dieser Temperatursensor **19** kann in wenigstens einem der Messwandlereinheiten **10a**, **10b** vorgesehen sein.

[0060] Als Nächstes wird das Verfahren zum Mes-

sen der Schallgeschwindigkeit in Gewebe gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf das Flussdiagramm aus **Fig. 8** beschrieben.

[0061] Zuerst dreht bei dem Vorbereitungsschritt die Bedienperson das Rad **34** bis der Drehmomentbegrenzer **32** arbeitet, so dass die Messwandlerabdeckungen **14a**, **14b** der Messwandlereinheiten **10a**, **10b** mit einem vorbestimmten Druck zusammengepresst werden (S202). Ultraschall wird dann gesendet und empfangen, um die Ausbreitungszeit  $t_1$  zwischen den Messwandlern zu messen. Der Abstand  $L_1$  zwischen den Messwandlern wird durch den Laser-Abstandsmesser gemessen und die Temperatur  $d_1$  des Akustikanpassmaterials wird durch den Temperatursensor **19** gemessen (S204).

[0062] Die Schallgeschwindigkeit  $V_1$  in dem Akustikanpassmaterial bei dem Vorbereitungsschritt wird dann durch die folgende Beziehung berechnet (3) (S206):

$$V_1 = L_1/t_1 \quad (3)$$

Als Nächstes wird bei dem Messschritt die Probe **70** zwischen die Messwandlereinheiten **10a**, **10b** angeordnet und von diesen gehalten (S208), und die Bedienperson dreht das Rad **34** bis der Drehmomentbegrenzer **32** arbeitet. Die Ausbreitungszeit  $t_2$  des Ultraschalls zwischen den Messwandlern **12a**, **12b**, der Abstand  $L_2$  zwischen den Messwandlern und die Temperatur  $d_2$  des Akustikanpassmaterials werden gemessen (S210).

[0063] Die Schallgeschwindigkeit  $V_2$  in dem Akustikanpassmaterial wird dann unter Verwendung der folgenden Beziehung (4) berechnet (S212):

$$V_2 = V_1 + a(d_2 - d_1) \quad (4)$$

[0064] Hierbei zeigt die Konstante "a" die Schwankungsrate der Schallgeschwindigkeit in dem Akustikanpassmaterial für eine 1°C-Schwankung der Temperatur. Die Schwankung "a" wird in Einheiten von beispielsweise m/s x Grad ausgedrückt. Wenn das Akustikanpassmaterial Rizinusöl ist, ist die Konstante "a" ein Wert von etwa -3 bis -4.

[0065] Als Nächstes wird bei dem Berechnungsschritt die Schallgeschwindigkeit in dem Probengewebe unter Verwendung der bei dem Vorbereitungsschritt und dem Messschritt gemessenen Werte und der in dem Schritt S212 berechneten Schallgeschwindigkeit  $V_2$  in dem Akustikanpassmaterial berechnet.

[0066] Zu diesem Zweck wird zuerst die Zeit  $t$ , die der Ultraschall benötigt, um sich durch das Probengewebe auszubreiten, unter Verwendung der folgenden Beziehung (5) berechnet:

$$t = t_2 - L_1/V_2 \quad (5)$$

[0067] Da der Abstand  $L_1$  die Dicke des Akustikanpassmaterials bezeichnet und die Schallgeschwin-

digkeit  $V_2$  die Schallgeschwindigkeit in dem Akustikanpassmaterial bei dem Messschritt ist, drückt  $L_1/V_2$  die Zeit aus, die der Ultraschall benötigt, um sich durch die Schichten des Akustikanpassmaterials bei dem Messschritt auszubreiten. Die Zeit, die der Ultraschall benötigt, um sich durch das Probengewebe allein auszubreiten, kann durch Subtrahieren dieser Zeit ( $L_1/V_2$ ) von der Ausbreitungszeit  $t_2$  zwischen den Messwandlern bei dem Messschritt gefunden werden.

[0068] Die Schallgeschwindigkeit  $V$  in dem Probengewebe wird dann unter Verwendung der folgenden Beziehung (2a) berechnet (S216):

$$V = (L_2 - L_1)/t \quad (2a)$$

[0069] Die auf diese Weise bestimmte Schallgeschwindigkeit ist ein akkurater, bezüglich der Temperaturdifferenz des Akustikanpassmaterials bei dem Vorbereitungsschritt und dem Messschritt korrigierter Wert.

[0070] Wie vorstehend beschrieben, kann erfindungsgemäß ein genauer, von Zustandsschwankungen des Akustikanpassmaterials aufgrund von Schwankungen der Umgebungsbedingungen oder zeitlicher oder anderer Schwankungen des Akustikanpassmaterials unbeeinflusster Wert der Schallgeschwindigkeit in Probengewebe erhalten werden. Zusätzlich können, neben der Schallgeschwindigkeit, andere Beurteilungswerte unter Verwendung der genauen Schallgeschwindigkeit, die wie vorstehend beschrieben, gefunden wurde, korrigiert werden.

[0071] Erfindungsgemäß kann der für die Schallgeschwindigkeit in dem Probengewebe erhaltene Wert durch Korrektur von Fehlern aufgrund der Temperaturunterschiede des Akustikanpassmaterials in dem Vorbereitungs- und dem Messschritt noch genauer berechnet werden. Erfindungsgemäß kann die Schallgeschwindigkeit in dem Probengewebe genau berechnet werden, selbst wenn die Temperatur der Probe bei dem Messschritt auf das Akustikanpassmaterial übertragen wird, so dass die Temperatur des Akustikanpassmaterials schwankt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen der Schallgeschwindigkeit in Gewebe, bei dem ein Gewebe (**70**) zwischen einem Paar von Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**) gehalten wird, Ultraschall durch die genannten Einheiten (**10a**, **10b**) gesendet und empfangen wird und bei dem jede der Einheiten (**10a**, **10b**) einen Ultraschallmesswandler (**12a**, **12b**), eine Messwandlerabdeckung (**14a**, **14b**), von welcher wenigstens ein Teil frei verformbar ist und welche den Ultraschallmesswandler (**12a**, **12b**) abdeckt, und ein flüssiges Akustikanpassmaterial. (**16a**, **16b**), welches den Raum zwischen der Abdeckung (**14a**, **14b**) und dem Messwandler (**12a**, **12b**) ausfüllt, aufweist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

a) Einen Vorbereitungsschritt, bei dem die Abdeckungen (**14a**, **14b**) der Messwandler (**12a**, **12b**) des Paares von Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**) unter einem vorbestimmten Druck zusammengepresst werden, Ultraschall gesendet und empfangen wird und die Ausbreitungszeit des Ultraschalls von einem zu dem anderen Messwandler (**12a**, **12b**) gemessen wird;

b) einen Messschritt, bei welchem ein Gewebe (**70**) zwischen das Paar von Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**) unter dem vorbestimmten Druck gehalten wird, Ultraschall gesendet und empfangen wird und die Ausbreitungszeit des Ultraschalls vom einen zum anderen Messwandler (**12a**, **12b**) gemessen wird und der Abstand zwischen den Messwandlern (**12a**, **12b**) gemessen wird; und

c) einen Berechnungsschritt, bei welchem die Schallgeschwindigkeit in dem Gewebe berechnet wird auf Grundlage der Ausbreitungsgeschwindigkeit, welche in dem Vorbereitungsschritt gemessen wurde und der Ausbreitungsgeschwindigkeit und dem Abstand zwischen den Ultraschallmesswandlern (**12a**, **12b**), welche in dem Messschritt gemessen wurden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der vorbestimmte Druck durch einen Bewegungsmechanismus für die Messwandlereinheit mit einer Vorschubspindel (**30**) und einem Drehmomentbegrenzer (**32**) erhalten wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Abstand zwischen den Ultraschallmesswandlern (**12a**, **12b**) unter Verwendung eines Laserabstandsmessers (**26**) gemessen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Messergebnis von Schritt (a) in einem Speicher (**60**) gespeichert wird, wenn verschiedene Proben gemessen werden, nur die Schritte (b) und (c) durchgeführt werden, und die Schallgeschwindigkeit in dem Gewebe (**70**) in Schritt (c) unter Verwendung des Messergebnisses von Schritt (a), welches in dem Speicher (**60**) gespeichert ist, berechnet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei: der Schritt (c) die folgenden Schritte aufweist: einen Schritt, bei dem die Zeit, welche der Ultraschall zur Durchquerung des Probengewebes (**70**) allein benötigt, berechnet wird durch Subtraktion der in Schritt (a) gemessenen Ausbreitungszeit von der in Schritt (b) gemessenen Ausbreitungszeit; und einen Schritt, bei dem die Schallgeschwindigkeit in dem Gewebe (**70**) berechnet wird durch Division des in Schritt (b) gemessenen Abstands zwischen den Messwandlern (**12a**, **12b**) durch die Zeit, welche der Ultraschall benötigt, um das Probengewebe (**70**) allein zu durchqueren.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:

der Schritt (a) außerdem einen Schritt zum Messen des Abstandes zwischen den Messwandlern (**12a**, **12b**) aufweist und wobei Schritt (c) aufweist:

einen Schritt, bei dem die Zeit, welche der Ultraschall benötigt, um das Gewebe (**70**) allein zu durchqueren, berechnet wird durch Subtraktion der in Schritt (a) gemessenen Ausbreitungszeit von der in Schritt (b) gemessenen Ausbreitungszeit, und

einen Schritt, bei dem die Dicke des Gewebes (**70**) berechnet wird durch Subtraktion des in Schritt (b) gemessenen Abstands zwischen den Messwandlern (**12a**, **12b**), und die Schallgeschwindigkeit in dem Gewebe (**70**) berechnet wird durch Division der Dicke des Gewebes (**70**) durch die Zeit, welche der Ultraschall benötigt, um das Gewebe (**70**) allein zu durchqueren.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:

der Schritt (a) außerdem einen Schritt zum Messen der Temperatur des Akustikanpassmaterials (**16a**, **16b**) und Berechnen der Schallgeschwindigkeit in dem Akustikanpassmaterial (**16a**, **16b**) aufweist, Schritt (b) außerdem einen Schritt zum Messen der Temperatur des Akustikanpassmaterials (**16a**, **16b**) aufweist und Schritt (c) außerdem einen Schritt zum Berechnen der Schallgeschwindigkeit in dem Akustikanpassmaterial (**16a**, **16b**) in Schritt (b) aufweist durch Korrektur der in Schritt (a) berechneten Schallgeschwindigkeit unter Verwendung der in Schritt (a) bzw. Schritt (b) gefundenen Temperaturen, und die Schallgeschwindigkeit in dem Gewebe (**70**) berechnet wird auf Grundlage der Schallgeschwindigkeit in dem Akustikanpassmaterial (**16a**, **16b**), welche wie hier beschrieben berechnet wurde, der in Schritt (a) gemessenen Ausbreitungszeit und der Ausbreitungszeit und dem Abstand zwischen den Messwandlern (**12a**, **12b**), die in Schritt (b) gemessen wurden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei: in dem Schritt zum Berechnen der Schallgeschwindigkeit in dem Akustikanpassmaterial (**16a**, **16b**) des Schritts (a) der Abstand zwischen den Messwandlern (**12a**, **12b**) gemessen wird und die Schallgeschwindigkeit in dem Akustikanpassmaterial (**16a**, **16b**) durch Division dieses Abstands durch die Ausbreitungszeit des Ultraschalls von einem zu dem anderen der Messwandler (**12a**, **12b**) berechnet wird.

9. Vorrichtung zur Beurteilung von Gewebe zur Berechnung von Beurteilungswerten von Gewebe auf Grundlage eines Empfangssignals, welches nach Durchtritt von Ultraschall durch ein Gewebe empfangen und erhalten wurde, wobei die Vorrichtung aufweist:

ein Paar von Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**), wobei jede der Einheiten einen Messwandler (**12a**, **12b**), eine Messwandlerabdeckung (**14a**, **14b**), von welcher wenigstens ein Teil frei verformbar ist und welche den Messwandler (**12a**, **12b**) abdeckt, und ein flüssiges Akustikanpassmaterial (**16a**, **16b**), welches



den Raum zwischen der Abdeckung (**14a**, **14b**) und dem Messwandler (**12a**, **12b**) ausfüllt, aufweist, einen Bewegungsmechanismus für die Messwandlereinheit (**24a**, **24b**, **30**, **34**) zum Bewegen des Paares von Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**) aufeinander zu, so dass die Abdeckungen (**14a**, **14b**) gegeneinander oder voneinander weg gepresst werden können, einen Drehmomentbegrenzer (**32**) zur Bereitstellung der selben Begrenzungskraft, mit welcher die Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**) gegen das Gewebe (**70**) und gegeneinander gepresst werden, wenn das Gewebe (**70**) zwischen dem Paar von Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**) gehalten wird bzw. wenn dazwischen kein Gewebe gehalten wird, einen Speicher (**60**), Mittel zum Speichern einer Ausbreitungszeit des Ultraschalls zwischen den Messwandlern (**12a**, **12b**) in dem Speicher (**60**), wenn die Messwandlerabdeckungen (**14a**, **14b**) des Paares von Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**) gegeneinander mit einer vorbestimmten Kraft gepresst werden, eine Zeitmesseinrichtung (**54**) zum Messen der Ausbreitungszeit des Ultraschalls zwischen den Messwandlern (**12a**, **12b**) auf Grundlage eines Empfangssignals der Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**), eine Abstandsmesseinrichtung (**56**) zum Messen des Abstandes zwischen den Messwandlereinheiten (**10a**, **10b**), und einen Prozessor (**58**) zum Berechnen der Schallgeschwindigkeit in dem Gewebe (**70**) auf Grundlage der in dem Speicher (**60**) gespeicherten Ausbreitungszeit, der von der Messeinrichtung (**54**) gefundenen Ausbreitungszeit und dem von der Abstandsmesseinrichtung (**56**) gemessenen Abstand.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

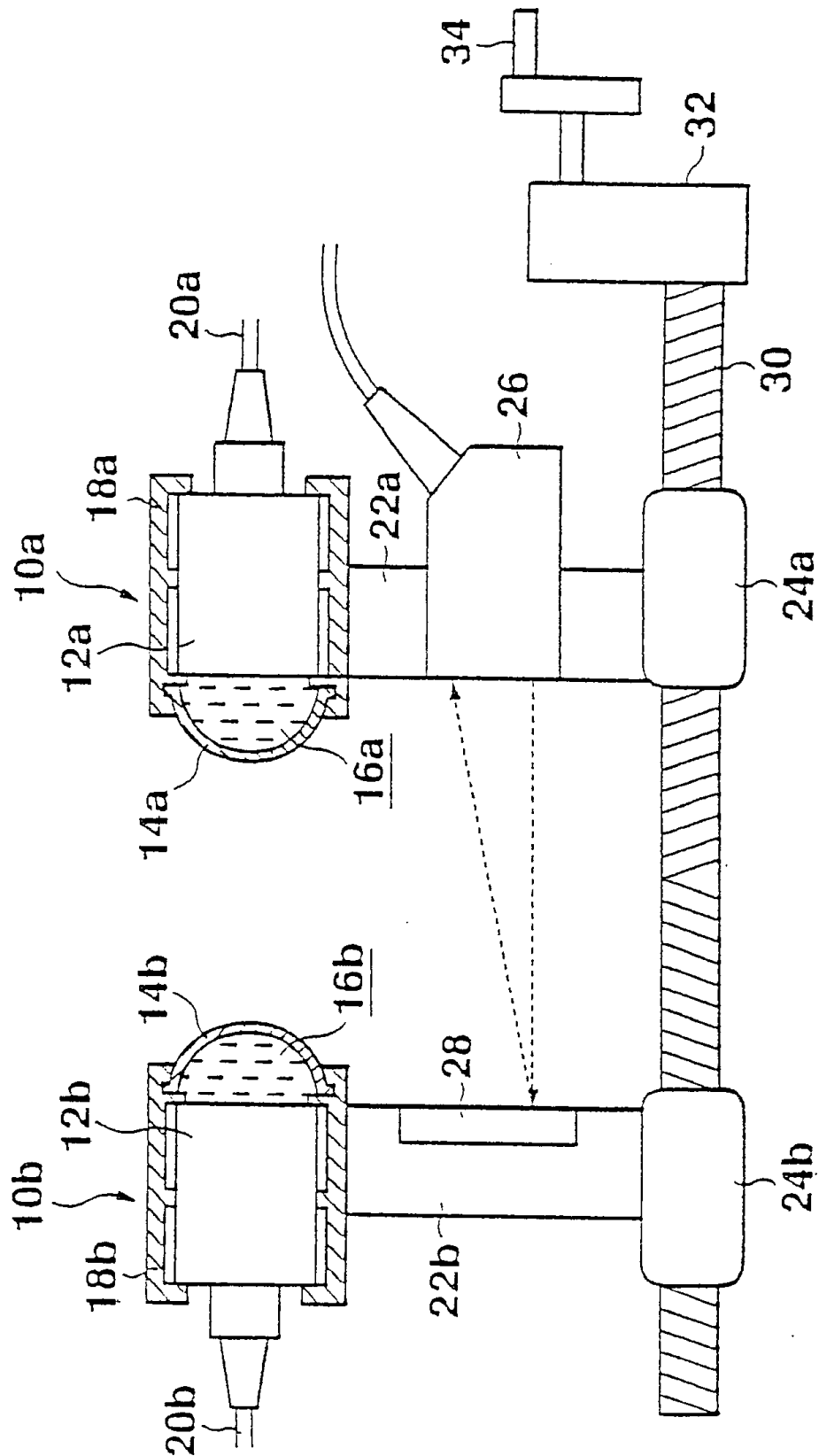


Fig. 1

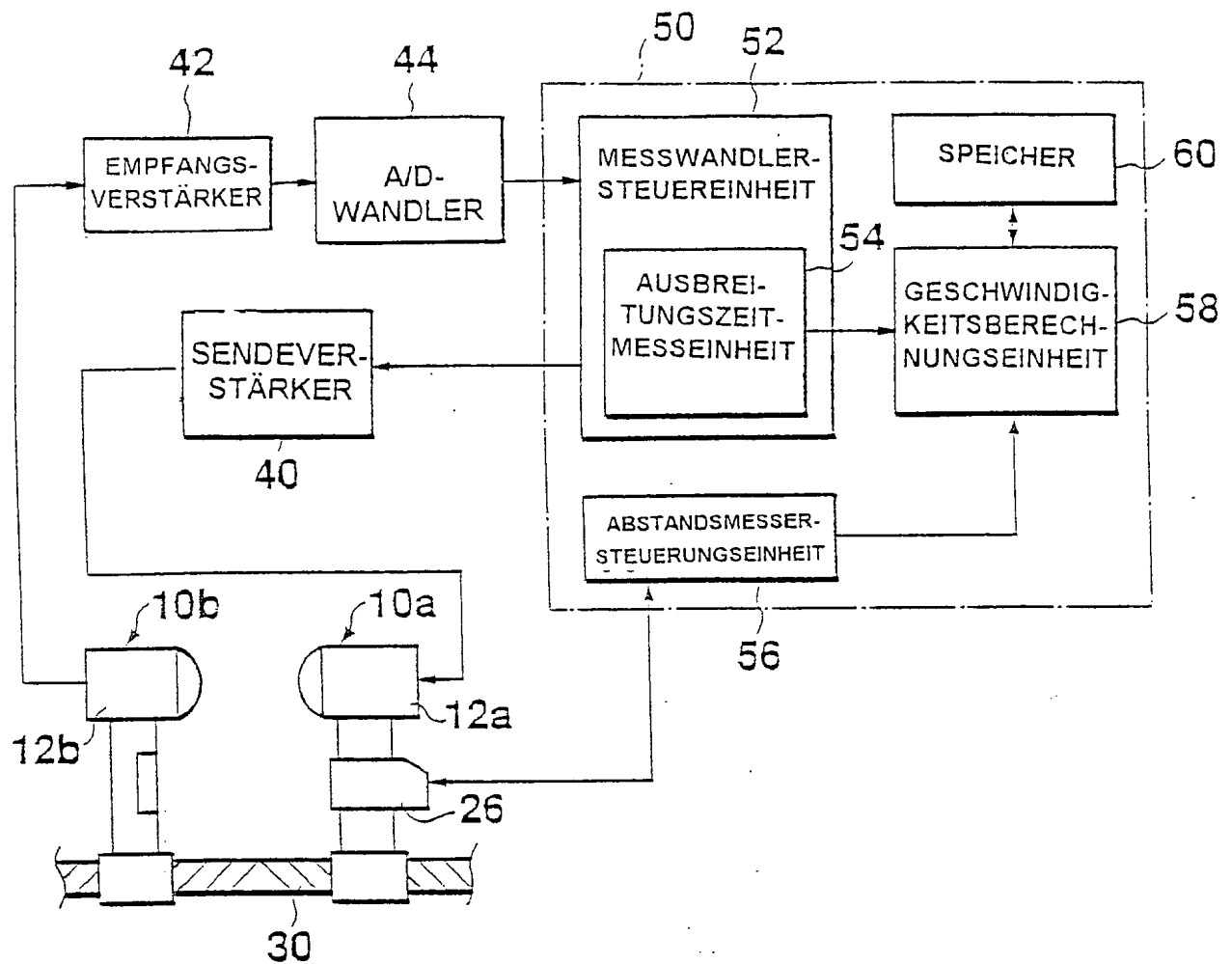


Fig. 2

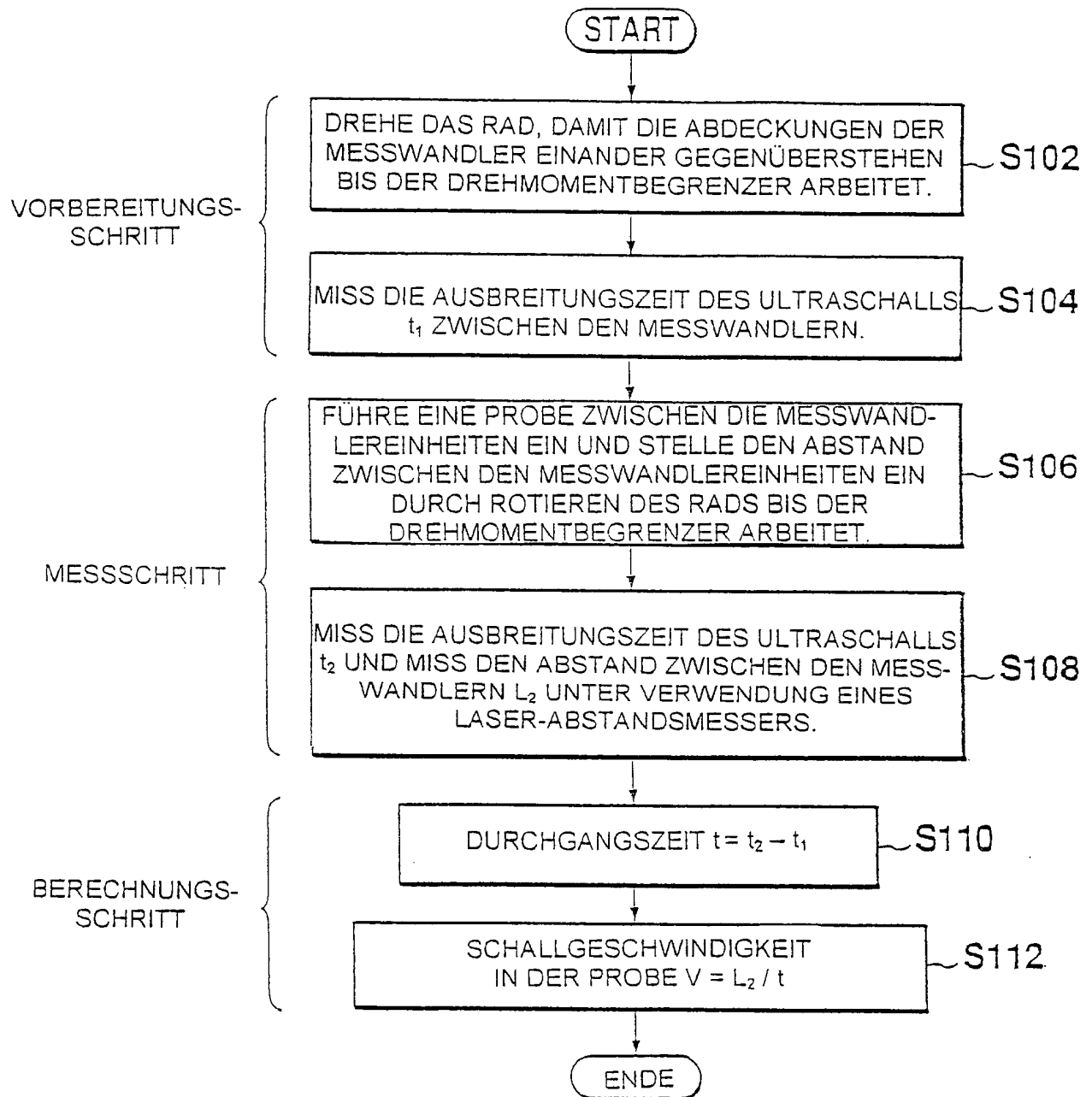


Fig. 3

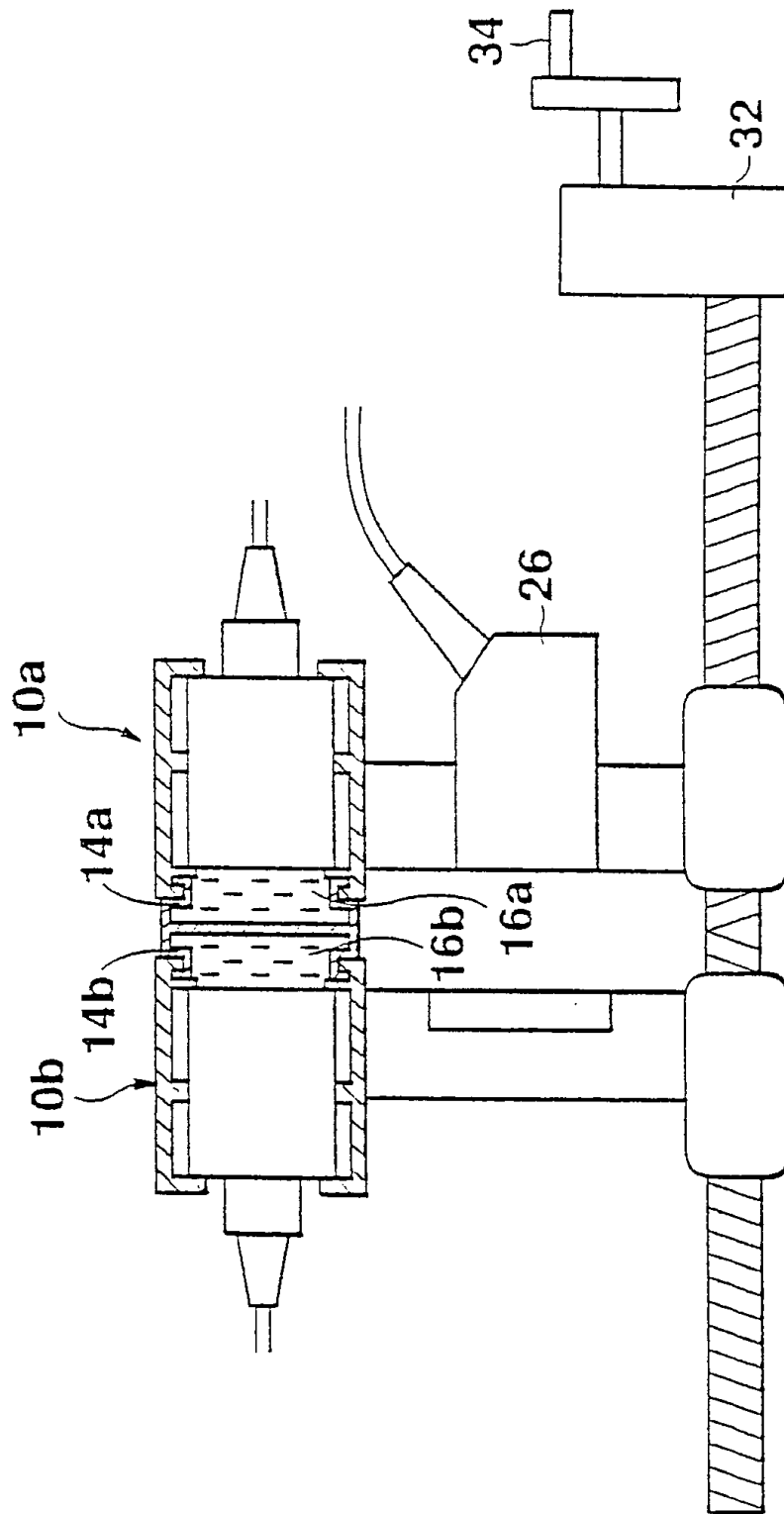


Fig. 4

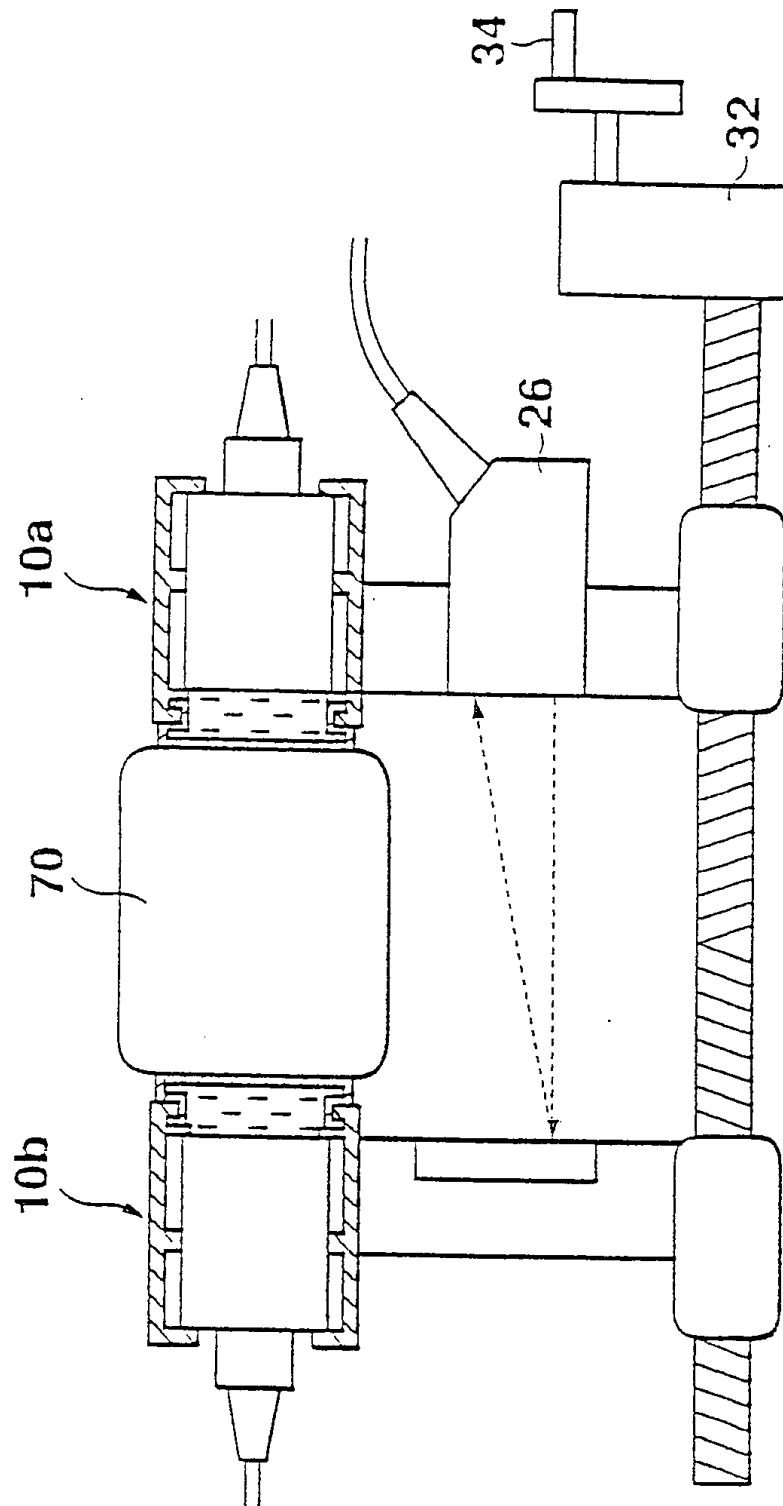


Fig. 5

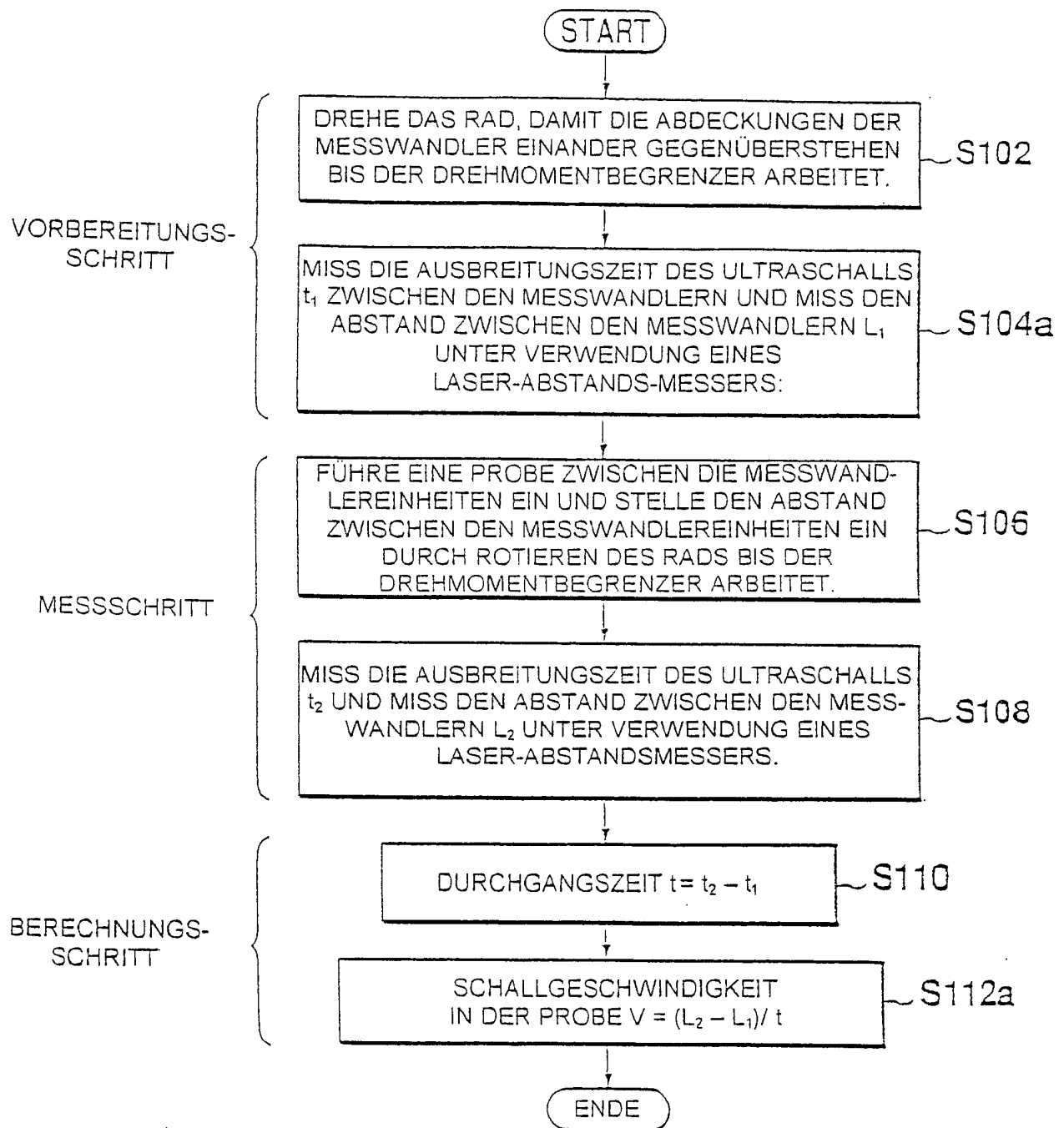


Fig. 6

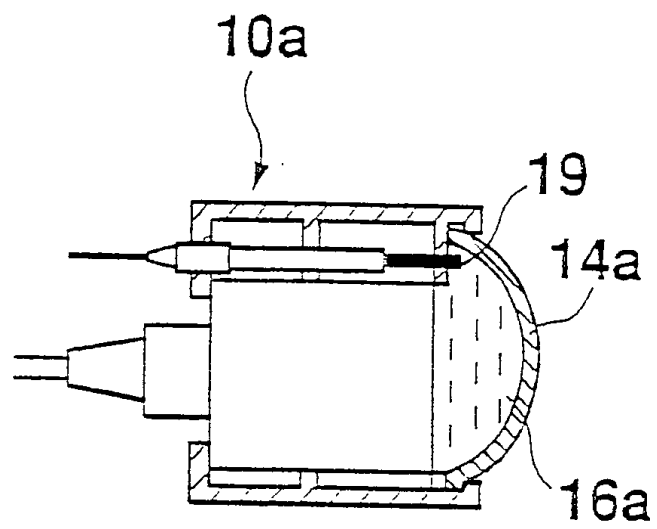


Fig. 7



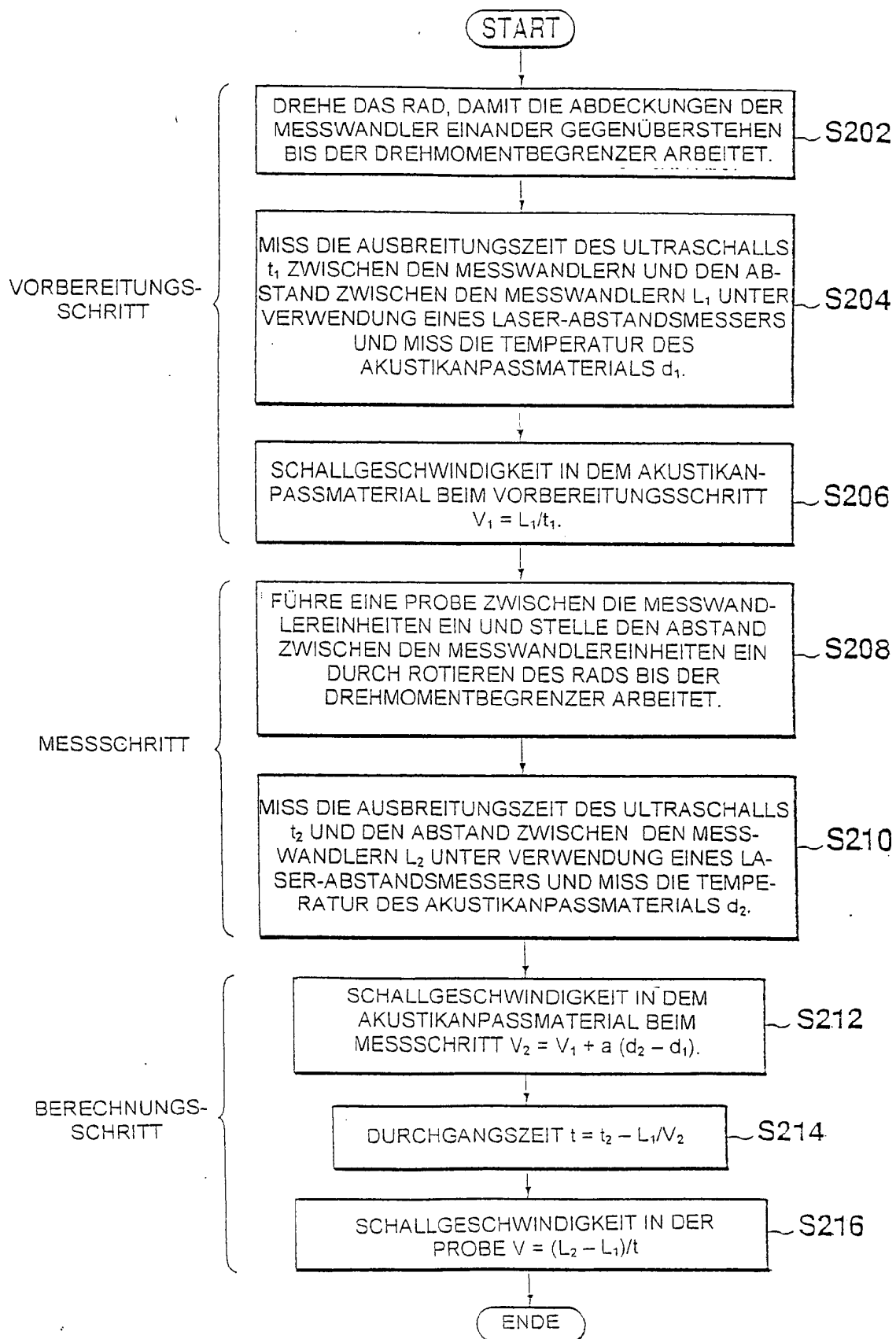


Fig. 8