



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 182 641 A2**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.02.2002 Patentblatt 2002/09

(51) Int Cl.7: **G10D 1/00, G10D 3/02**

(21) Anmeldenummer: **01119531.0**

(22) Anmeldetag: **14.08.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **Schleske, Martin**
80538 München (DE)

(72) Erfinder: **Schleske, Martin**
80538 München (DE)

(30) Priorität: **23.08.2000 DE 10041357**

(74) Vertreter: **Tetzner, Michael, Dipl.-Ing.**
Anwaltskanzlei Dr. Tetzner Van-Gogh-Strasse 3
81479 München (DE)

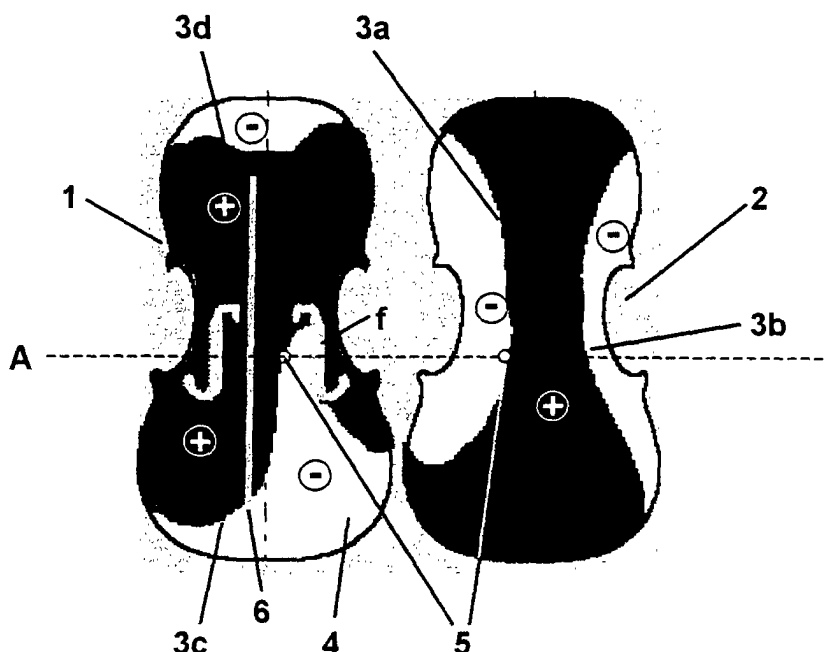
(54) **Resonanzplatte in Faserverbund-Bauweise**

(57) 1. Resonanzplatte in Faserverbund-Bauweise

2. Die Erfindung stellt eine Resonanzplatte für akustische Musikinstrumente dar. Ihre Verwendung ist möglich für alle akustischen Musikinstrumente, deren Schallabstrahlung mittels Resonanzplatten (bzw. Resonanzboden) oder eines aus Resonanzplatten zusammengefügt Resonanzkörpers erfolgt, vorzugsweise für Streichinstrumente. Die erfindungsgemäße Resonanzplatte ist als Faserverbund-Sandwichplatte aufgebaut. Sie bewirkt aufgrund ihres günstigeren Masse-StEIFigkeits-Verhältnisses gegenüber den herkömmli-

chen Resonanzplatten aus Vollholz oder Composite eine Erhöhung der Schallabstrahlung des Musikinstrumentes. Der vom Umriß der Resonanzplatte umgrenzte Flächeninhalt ist gegenüber dem mittleren Flächeninhalt der Resonanzplatten herkömmlicher gleichartiger Musikinstrumente derart vergrößert, daß die Eigenfrequenzverschiebungen (und damit Klangfarbenveränderungen), welche sich aufgrund des günstigeren Masse-StEIFigkeits-Verhältnisses der Faserverbund-Sandwichplatte gegenüber der herkömmlichen Vollholz-Resonanzplatte ergeben, kompensiert werden.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Resonanzplatte in Faserverbund-Bauweise, enthaltend wenigstens eine aus Langfasern und Trägermaterial bestehende Faser-

[0002] Die Erfindung wird im folgenden am Beispiel der Resonanzplatten von Streichinstrumenten näher beschrieben. Sie ist jedoch auch für andere, mit einem Resonanzkorpus oder Resonanzboden versehene akustische Musikinstrumente (wie Gitarren und Klaviere) vorteilhaft verwendbar.

[0003] Der Resonanzkorpus eines Streichinstrumentes wird von den beiden Resonanzplatten (Decke und Boden) und den sie verbindenden Zargen gebildet. Die Decke wird in traditioneller Weise aus Fichtenholz, der Boden meist aus Ahornholz gefertigt.

[0004] In neuerer Zeit hat man auch bereits versucht, die Resonanzplatten akustischer Musikinstrumente in Faserverbund-Bauweise herzustellen. Strukturen in Faserverbund-Bauweise bestehen meist aus Langfasern, die vorzugsweise in bestimmten Richtungen orientiert sind, und einem Träger- bzw. Matrixmaterial, das im allgemeinen ein duroplastischer oder thermoplastischer Kunststoff ist.

[0005] Die bisherigen Bemühungen zur Herstellung von für akustische Musikinstrumente bestimmten Resonanzplatten in Faserverbund-Bauweise zielen durchweg darauf ab, die akustischen Eigenschaften des zu ersetzenden Holzes möglichst zu kopieren. Beispiele für diese Versuche im bisher bekannten Stand der Technik geben etwa die DE 37 38 459 A1, EP 0 433 430 B1, US-A 5,895,872 und US-A 5,905,219. So strebt die DE 37 38 459 A1 "eine dem Holz annähernd gleiche makroskopische Heterogenität" an und nennt als Ziel, daß "das zusammengesetzte Material ähnliche Eigenschaften wie die Fichte aufweisen" soll.

[0006] Unbefriedigend erscheint an diesen bisher bekannten Resonanzplatten in Faserverbund-Bauweise, daß sie in akustischer Hinsicht sehr guten, in traditioneller Bauweise gefertigten Vollholz-Resonanzplatten allenfalls gleichwertig, keinesfalls jedoch überlegen sind.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Resonanzplatte in Faserverbund-Bauweise zu schaffen, die im Vergleich zu ausgezeichneten, in traditioneller Bauweise gefertigten Vollholz-Resonanzplatten eine deutlich verbesserte akustische Qualität besitzt. Die erfindungsgemäße Resonanzplatte soll insbesondere unter Beibehaltung der gewohnten und erwünschten Klangfarbe einer Vollholz-Resonanzplatte eine wesentlich höhere Schalleistung aufweisen.

[0008] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Kombination folgender Merkmale erreicht:

a) wenigstens ein aus der Resonanzplatte geschnittener Teststreifen weist einen Qualitätsquotienten ($Q_M = c_L/\rho$) von mindestens 0,02 m⁴/sg,

vorzugsweise von mindestens 0,04 m⁴/sg auf, wobei c_L die Schallgeschwindigkeit (in m/s) der Longitudinalwellen in Längsrichtung des Teststreifens und ρ die mittlere Gesamtdichte (in g/m³) des Teststreifens ist;

b) der vom Umriß der Resonanzplatte umgrenzte Flächeninhalt der Resonanzplatte ist so groß gewählt, daß

b1) die Frequenz der Hauptkorpusresonanz (B1-Mode) von Streichinstrumenten in folgenden Bereichen liegt:

- bei der Violine zwischen 480 und 580 Hz, vorzugsweise zwischen 510 und 550 Hz,
- bei der Viola zwischen 380 und 500 Hz, vorzugsweise zwischen 420 und 460 Hz,
- beim Violoncello zwischen 150 und 210 Hz, vorzugsweise zwischen 170 und 190 Hz,
- beim Kontrabass zwischen 80 und 120 Hz, vorzugsweise zwischen 90 und 110 Hz,

b2) die Frequenz der zweittiefsten Korpusresonanz (0,0-Mode) bei der Gitarre zwischen 180 und 240 Hz, vorzugsweise zwischen 190 und 220 Hz, liegt,

b3) die Frequenz der tiefsten Resonanz (0,0-Mode) des Klavier- bzw. Konzertflügelresonanzbodens zwischen 40 und 60 Hz, vorzugsweise zwischen 45 und 55 Hz, liegt.

[0009] Im einzelnen basiert die Erfindung auf folgenden Überlegungen und Versuchen:

[0010] Schneidet man aus einer Resonanzplatte einen Teststreifen (wie dies bei der Beschreibung eines Ausführungsbeispiels noch im einzelnen erläutert wird), so läßt sich die akustische Qualität dieses Teststreifens anhand eines Qualitätsquotienten Q_M beurteilen, der wie folgt definiert ist:

$$Q_M = c_L/\rho$$

[0011] Hierbei ist c_L die Schallgeschwindigkeit (in m/s) der Longitudinalwellen in Längsrichtung des Teststreifens und ρ die mittlere Gesamtdichte (in g/m³) des Teststreifens.

[0012] Der Qualitätsquotient Q_M ist also umso höher, je größer die Schallgeschwindigkeit der Longitudinalwellen im Verhältnis zur schwingenden Masse ist. Ein großer Wert von Q_M entspricht somit einem günstigen Masse-Steifigkeits-Verhältnis der Resonanzplatte.

[0013] Bei Fichtenholz ergibt sich aus $c_L = 5800$ m/s und $\rho = 400$ kg/m³ ein typischer Qualitätsquotient $Q_M = 0,0145$ m⁴/sg. Als höchster bei Fichtenklangholz er-

reichbarer Wert wurde bei den der Erfindung zugrundeliegenden Versuchen $Q_M = 0,016 \text{ m}^4/\text{sg}$ gemessen. Dieser Wert entspricht den bei Resonanzplatten der berühmtesten Geigenbauer (wie Antonio Stradivari) vorkommenden Werten. Unterdurchschnittliches Fichtenklangholz liegt bei $Q_M = 0,012 \text{ m}^4/\text{sg}$.

[0014] Bei Teststreifen aus Resonanzplatten in Faserverbund-Bauweise kann man demgegenüber Qualitätsquotienten Q_M von über $0,06 \text{ m}^4/\text{sg}$ feststellen. Die akustische Materialqualität von Resonanzplatten in Faserverbund-Bauweise liegt also damit fast viermal so hoch wie die akustische Materialqualität des besten und lange Zeit gealterten Fichtenklangholzes. Trotz dieser durchaus bekannten Tatsache ist es bisher jedoch nicht gelungen, Resonanzplatten in Faserverbund-Bauweise zu schaffen, die unter Einbeziehung aller erforderlichen Aspekte den Vollholz-Resonanzplatten überlegen sind. Die Gründe für diese Schwierigkeit und der Sinn der erfindungsgemäßen Merkmalskombination ergeben sich aus den folgenden Betrachtungen.

[0015] Fertigt man eine Resonanzplatte bei gleichbleibenden geometrischen Abmessungen statt aus Holz in Faserverbund-Bauweise, so ergeben sich aufgrund des wesentlich höheren Qualitätsquotienten Q_M weit höhere Eigenfrequenzen (Resonanzfrequenzen). Diese Erhöhung der Eigenfrequenzen führt zu einem unerwünscht scharfen bzw. nasalten Klang und verändert damit die Klangfarben des Instrumentes ganz nachteilig.

[0016] Man könnte nun daran denken, die zu hohen Eigenfrequenzen einer Resonanzplatte in Faserverbund-Bauweise dadurch abzusenken (und wieder in Richtung der Eigenfrequenzen einer herkömmlichen Vollholz-Resonanzplatte zu verschieben), daß die Resonanzplatte in Faserverbund-Bauweise dünner dimensioniert wird als eine entsprechende Vollholz-Resonanzplatte. Bei den der Erfindung zugrundeliegenden Versuchen zeigte sich jedoch, daß der Qualitätsquotient Q_M einer Resonanzplatte in Faserverbund-Bauweise - ganz im Gegensatz zum Qualitätsquotienten einer herkömmlichen Vollholz-Resonanzplatte - dickenabhängig ist, indem nämlich eine Verringerung der Plattendicke gleichzeitig auch eine Verkleinerung des Qualitätsquotienten Q_M zur Folge hat. Verkleinert man also die Dicke einer Resonanzplatte in Faserverbund-Bauweise (um die Resonanzfrequenzen wieder in den erwünschten Bereich abzusenken), so verkleinert man damit auch den Qualitätsquotienten Q_M und verliert damit den akustischen Vorzug, den die Faserverbund-Bauweise an sich gegenüber der traditionellen Holz-Bauweise besitzt.

[0017] Ausgehend von diesen Überlegungen beschreibt die Erfindung daher einen grundsätzlich anderen Weg, um die Resonanzfrequenzen einer in Faserverbund-Bauweise hergestellten Resonanzplatte in den gewünschten und von Vollholz-Resonanzplatten gewohnten Bereich zu legen.

[0018] Bei der erfindungsgemäßen Lösung wird die

durch die Faserverbund-Bauweise bedingte Eigenfrequenzerhöhung (mit der die sehr erwünschte Steigerung des Qualitätsquotienten Q_M verbunden ist) durch eine solche geometriebedingte Eigenfrequenzerniedrigung kompensiert, durch die der Qualitätsquotient Q_M nicht nennenswert herabgesetzt wird. Erfindungsgemäß wird zu diesem Zweck der Flächeninhalt der Resonanzplatte größer dimensioniert als bei einer aus Vollholz gefertigten Resonanzplatte eines Streichinstrumentes gleicher Klangfarbe. Eine Flächenvergrößerung der Resonanzplatte hat eine Verschiebung der Eigenfrequenzen nach unten zur Folge. Aufgrund ihrer größeren Fläche kann die Resonanzplatte dann eine entsprechend größere Dicke erhalten, ohne daß die Eigenfrequenzen den für die erwünschte und gewohnte Klangfarbe erforderlichen Bereich nach oben verlassen. Der resultierende Qualitätsquotient Q_M liegt damit deutlich über dem einer nicht vergrößerten, dünneren Platte in Faserverbund-Bauweise.

[0019] Da eine Vergrößerung der schwingenden Fläche gleichzeitig eine Erhöhung der Schallabstrahlung und damit eine Erhöhung des akustischen Wirkungsgrades des Instrumentes zur Folge hat, wird bei der erfindungsgemäßen Lösung nicht nur die gewünschte Klangfarbe der klassischen Streichinstrumente realisiert, sondern es werden darüber hinaus auch die weiteren, aus der Schallabstrahlung resultierenden klanglichen Eigenschaften, wie "Tragfähigkeit", "Volumen" und "Dynamik", verbessert. Die erfindungsgemäße Resonanzplatte gestattet es damit, Instrumente zu bauen, die hinsichtlich der Hörgewohnheiten (Klangfarbenempfinden) den herkömmlichen, aus Vollholz gefertigten Instrumenten entsprechen, die jedoch hinsichtlich ihres akustischen Wirkungsgrades den traditionellen Instrumenten deutlich überlegen sind.

[0020] Würde man bei einem aus Vollholz gefertigten Resonanzkörper eines herkömmlichen Streichinstrumentes den Flächeninhalt der Resonanzplatten vergrößern, so würde dies die Eigenfrequenzen des Instrumentes so stark nach unten verschieben, daß sich eine dumpfe ("topfige") Klangfarbe ergibt. Bei einem herkömmlichen Streichinstrument mit Vollholz-Resonanzplatten würde eine Plattenverbreiterung aufgrund der geringen Quersteifigkeiten der Vollholzplatten auch zur Ausbildung von Schwingungsmoden mit engen, parallel liegenden, gegenphasigen Schwingungsbäuchen führen, die aufgrund hydrodynamischer Kurzschlüsse eine geringe Schallabstrahlung zur Folge haben (vgl. Cremer, Lothar: "Physik der Geige", Stuttgart 1981, S. 341).

[0021] Eine Flächenvergrößerung der Resonanzplatte ist daher erst dann akustisch sinnvoll, wenn ein Material (wie ein Faserverbundwerkstoff) mit einer gegenüber Holz höheren Biegesteifigkeit und demzufolge einer höheren Schallgeschwindigkeit verwendet wird.

[0022] Die im Merkmal b) des Anspruchs 1 formulierte akustische Bedingung dient der Kontrolle vergleichbarer Klangfarben. Es handelt sich hierbei im

Merkmal b1) um die Frequenz der Hauptkorpusresonanz, die - entsprechend der einschlägigen Literatur - mit B1-Mode bezeichnet wird. Im Merkmal b2) ist für die Gitarre die zweitiefste Korpusresonanz genannt, die mit 0,0-Mode bezeichnet wird. Merkmal b3) betrifft die tiefste Resonanz des Resonanzbodens von Klavieren bzw. Konzertflügeln, die gemäß ihrer Schwingungsform ebenfalls mit 0,0-Mode bezeichnet wird.

Die genannten Resonanzen, insbesondere ihre jeweilige typische Schwingungsform, werden bei den Ausführungsbeispielen noch näher erläutert.

[0023] Bei den der Erfindung zugrundeliegenden Versuchen wurden im Akustiklabor des Erfinders Modalanalysen von hervorragenden Instrumenten berühmter Geigenbauer (wie Antonio Stradivari oder Guarneri del Gesu) durchgeführt. Bei Geigen, deren Klangfarben von Künstlern und geschulten Hörern als angenehm und ausgewogen beurteilt werden, liegt die B1-Mode stets in einem relativ engen Frequenzband zwischen 510 und 550 Hz. Eine Violine mit einer B1-Mode deutlich über diesem Frequenzbereich klingt tendentiell rau und scharf, während eine Violine mit einer B1-Mode unterhalb dieses Frequenzbereiches eine tendentiell dumpfe und topfige Klangfarbe besitzt. Die Eigenfrequenz der B1-Mode kann daher als ein zuverlässiger akustischer Indikator für die Klangfarbe eines Streichinstrumentes betrachtet werden.

[0024] Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0025] Diese und weitere Einzelheiten der Erfindung (etwa die Gewinnung, Messung und Auswertung von Teststreifen) werden im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert.

[0026] Fig. 1 bis 4 zeigen die typische Eigenschwingungsform der Hauptkorpusresonanz (B1-Mode), wie sie bei Violinen, Bratschen, Violoncelli und Kontrabässen gegeben ist. Teile des Schrifttums nennen die B1-Mode auch C3-Mode (Jansson) oder B1₊ Mode (Hutchins). Die Mode wird mit Hilfe der experimentellen Modalanalyse meßtechnisch ermittelt. Bei der experimentellen Modalanalyse werden eine Vielzahl an Übertragungsfunktionen (Beschleunigung dividiert durch Kraft; bzw. Schwingungsantwort dividiert durch Schwingungserregung) gemessen, indem das Instrument an einer Vielzahl von über den Korpus verteilten Koordinaten mittels Impulshämmerchen (z.B. PCB 086C80) angeregt wird. Die Schwingungsantwort wird mittels Beschleunigungsaufnehmer (z.B. PCB 352B22) am sog. Driving Point gemessen. Als Driving Point wird das obere Ende der Seitenkante (Baßbalkenseite) des Steges gewählt. Alle diese Messungen erfolgen im spielfertigen Zustand des Instrumentes, wobei lediglich die Saiten mittels Schaumstoff derart abgedämpft sind, daß die steifflankigen Saitenresonanzen bedämpft werden, während die zu bestimmenden Korpusresonanzen des Instrumentes nicht verändert werden. Abgesehen vom Klavier bzw. Flügel, die in normaler Standposition vermessen werden, erfolgt die Vermessung der übrigen

Musikinstrumente, in welche die erfindungsgemäße Resonanzplatte eingebaut ist, mit frei-freier Lagerung. Zweckmäßiger Weise werden die Instrumente dazu im Bereich des Ober- und Unterklotzes weich auf Schaumstoffkissen gelagert. Die Übertragungsfunktionen werden mittels der einschlägigen Programme (z.B. STAR Structure) in der für die Modalanalyse üblichen Weise ausgewertet.

[0027] In Fig. 1 ist die B1-Mode einer Geige mittels Contourplot dargestellt, wobei die linke Resonanzplatte die Decke 1 und die rechte Resonanzplatte den Boden 2 - jeweils in der Ansicht von außen - repräsentiert. Der Korpus wird also, obgleich die Messung im zusammengefügt, spielfertigen Zustand des Instrumentes erfolgt, "aufgeklappt" dargestellt. Die schwarzen, mit "+" gekennzeichneten Flächenbereiche schwingen gegenphasig zu den weißen, mit "-" gekennzeichneten, wobei die schwarzen Bereiche der Decke gleichzeitig mit den schwarzen Bereichen des Bodens nach außen (Richtung Korpus-Äußeres) und nach einer halben Schwingungsdauer nach innen schwingen. Entsprechendes trifft für die weißen Bereiche beider Platten zu. Diese Phasenbeziehung ist in Fig. 2 anhand stark übertriebener Amplituden (fette Linien) dargestellt; sie zeigt einen Querschnitt durch den Korpus an der in Fig. 1 mit A benannten Linie. Zur Orientierung geben die dünnen Linien den Ruhezustand des Korpus wieder. Die Einzelheiten der Amplitudenverteilung können von Instrument zu Instrument variieren; typisch für die Eigenschwingungsform der B1-Mode sind aber stets folgende Merkmale:

- in Längsrichtung des Bodens 2 verlaufen zwei Knotenlinien 3a und 3b, wobei die linke Knotenlinie 3a durch den Bereich des Stimmstocks 5 verläuft. Der Mittelbereich des Bodens 2 schwingt somit gegenphasig zu seinen beiden seitlichen Rändern. Für die B1-Mode ist diese Querbiegeschwingung des Bodens charakteristisch. Bei einigen wenigen Instrumenten kann beobachtet werden, daß die beiden Knotenlinien 3a und 3b sich im oberen Bereich des Bodens 2 bogenartig zusammenschließen.
- die (weiß gezeichnete) untere rechte Backe 4 der Decke 1 schwingt gegenphasig zu dem den größten Anteil der Deckenfläche einnehmenden (schwarz gezeichneten) Schwingungsbauch im Bereich des Baßbalkens 6, wobei die Knotenlinie 3c, welche diese gegenphasigen Schwingungsbäuche trennt, in der Regel durch den unmittelbaren Nahbereich des Stimmstocks 5, und anschließend durch das rechte (mit "f" bezeichnete) f-Loch verläuft, um den Deckenumriß im Bereich der größten Umrißbreite unten rechts zu verlassen.

[0028] Fig. 3 (Decke) und Fig. 4 (Boden) zeigen zum besseren Verständnis ebenfalls die Eigenschwingungsform der B1-Mode, nun aber (im Gegensatz zum Contourplot Fig. 1) als Drahtgittermodell, wobei Fig. 3a und 4a den mit -90° ausgelenkten, Fig. 3c und Fig. 4c den

mit + 90° ausgelenkten Zustand gegenüber dem in Fig. 3b und Fig. 4b dargestellten Ruhezustand mit 0° zeigen.

[0029] Die in Fig. 5 bis 8 abgebildeten Frequenzgänge stellen die typische Eingangsakzelleranz einer Violine (Fig. 5), einer Viola (Fig. 6), eines Violoncellos (Fig. 7), sowie eines Kontrabasses (Fig. 8) dar. Die Eingangsakzelleranz ist jene Übertragungsfunktion, bei welcher die Schwingungsanregung und die Schwingungsantwort am gleichen Meßpunkt gemessen werden. Als Meßpunkt ist der oben genannte Driving Point gewählt. Bei der X-Achse der Eingangsakzelleranz handelt es sich um die Frequenz, bei der Y-Achse um den Schwingungspegel (Beschleunigung dividiert durch anregende Kraft) in dB. Die verschiedenen Resonanzen sind als Einzelspitzen deutlich zu erkennen. Bei der Violine und der Viola (Fig. 5 und 6) bildet die B1-Mode typischer Weise den letzten herausragenden Resonanzgipfel eines durch die Einhüllende 7 gebildeten Korpusresonanzgebietes. Dieses Resonanzgebiet ist stets durch einen steilen Einbruch 8 (Antiresonanz) von den höherfrequenten Plattenresonanzspitzen getrennt. Wie in Fig. 7 erkennbar, bildet die B1-Mode beim Violoncello in der Regel den höchsten tieffrequenten Resonanzgipfel unterhalb 300 Hz. Die B1-Mode ist beim Violoncello häufig auch ohne physikalische Meßmethoden durch die sog. Wolfston-Anfälligkeit desjenigen gestrichenen Tones (besonders auf der C-Saite) auszumachen, dessen Grundfrequenz der Resonanzfrequenz der B1-Mode entspricht.

[0030] Beim Kontrabaß (Fig. 8) liegt die B1-Mode in der Regel als zweite, der Helmholtzresonanz A_0 folgende Hauptkorpusresonanz im Bereich um 100 Hz. Die Resonanzspitzen der Helmholtzresonanz A_0 und der unterhalb der B1-Mode liegenden T1-Mode sind in Fig. 4 bis 7 als solche gekennzeichnet.

[0031] Die in Merkmal b2) des Anspruchs 1 genannte zweitiefste Korpusresonanz der akustischen Gitarre ist in Fig. 9 veranschaulicht. Diese Resonanz wird im Schrifttum [siehe Fletcher N.H. und Rossing T.D.: "The Physics of Musical Instruments", New York 1991] als Mode mit 0,0-Charakter bezeichnet, da sie weder in Längs- noch in Querrichtung der Decke 9 Knotenlinien aufweist, sondern vielmehr durch einen einzigen Schwingungsbauch je Resonanzplatte (Decke und Boden) gekennzeichnet ist. Die Verbindung von Hohlraum, Decke und Boden führt bei der Gitarre zu drei Korpusresonanzen mit 0,0-Charakteristik, und zwar zur Helmholtzresonanz sowie zu zwei frequenzmäßig eng benachbarten, etwa 100 Hz über der Helmholtzresonanz liegenden Korpusresonanzen. Bei der in Merkmal b2) genannten Mode handelt es sich um die tieffrequente dieser beiden letztgenannten Resonanzen, und damit, da die Helmholtzresonanz die erste Korpusmode der Gitarre ist, um die zweitiefste Korpusresonanz, bzw. die mittlere der drei Korpusresonanzen mit 0,0-Charakter. Sie unterscheidet sich von der höherfrequenten, dritten Korpusresonanz mit 0,0-Charakter durch die Phasenlage gegen Decke und Boden. Decke und Boden

schwingen bei der in Merkmal b2) genannten Resonanz gleichphasig (in gleiche Raumrichtung), sodaß sich der Korpus wie eine dicke Platte als Ganzes verbiegt; bei der höherfrequenten, dritten 0-0-Korpusmode schwingen dagegen Decke und Boden gegenphasig, führen also eine "atmende" Bewegung des Korpus aus. Die Schwingungsform der in Merkmal b2) genannten Mode ist in Fig. 9 durch Linien gleicher Amplituden 10 illustriert. Diese sind um den Bereich des Steges 12 herum zentriert und beschreiben einen Schwingungsbauch, der etwa die Form des unteren Umrißbereiches der Resonanzplatte einnimmt [vgl. Richardson, B.E.: "The acoustical development of the guitar" in: Catgut Acoust. Soc. J. Vol. 2, No. 5 (Series II) May 1994; S. 5; Fig. 4b].

[0032] Im Merkmal b3) handelt es sich um die tiefste Resonanz des Resonanzbodens des Klaviers bzw. Konzertflügels. Diese Resonanz wird entsprechend ihrer Schwingungsform ebenfalls mit 0,0-Mode bezeichnet. Ihre Schwingungsform ist durch Linien gleicher Amplituden 10 in Fig. 10 dargestellt [vgl.: Kindel: "Modal Analysis and finite element analysis of a piano soundboard" M.S.thesis, University Cincinnati. Zitiert aus: Fletcher N.H. und Rossing T.D.: "The Physics of Musical Instruments", New York 1998, S. 382].

[0033] Die Messung des in Anspruch 1, Merkmal a) genannten Qualitätsquotienten Q_M wird zweckmäßig wie folgt vorgenommen:

[0034] Aus der Fläche der Resonanzplatte werden Streifenelemente 14 herausgeschnitten. Die Proportionen eines Streifenelementes sind dabei wie folgt von der mittleren Dicke (D_m) des Streifenelementes abgeleitet: Die Länge L des Streifens entspricht der 25-fachen Dicke D_m , die Breite B des Streifens entspricht der 5-fachen Dicke D_m .

[0035] Es wird daraufhin meßtechnisch die Schallgeschwindigkeit C_L der Longitudinalwellen in Längsrichtung des Streifenelementes (Streifens) bestimmt. Für diese Messung wird die im Bereich der Körperschallmessung etablierte Resonanzmethode angewandt. Sie ist in Fig. 11 veranschaulicht:

[0036] Der Streifen 14 wird in den beiden Knotenlinien (n_1 und n_2) seiner ersten Biegeeigenfrequenz elastisch auf Gummizügen oder Schaumstoffkeilen 15 gelagert (frei-freie Randbedingungen). Der Streifen wird über Luftschall sinusförmig angeregt. Dazu wird im Abstand von etwa 5 mm unterhalb eines der beiden Streifenenden ein Miniaturlautsprecher 16 positioniert, der an einen Leistungsverstärker 17 angeschlossen ist. Das sinusförmige Signal wird von einem Sinusgenerator 18 generiert. Die Schwingungsantwort des auf diese Weise sinusförmig angeregten Streifens wird mit Hilfe eines Schallpegelmessers 19 abgenommen. Dazu wird das Mikrofon 20 des Schallpegelmessers in einem Abstand von ca. 1 mm oberhalb des dem Lautsprecher gegenüber liegenden Streifenendes positioniert. Am Sinusgenerator 18 wird die Frequenz allmählich so weit erhöht, bis die Eigenfrequenz der ersten Biegeeigen-schwingung des Streifens durch das zugehörige Pegelmaxi-

mum des Pegelgipfels am Schallpegelmessers abgelesen werden kann. (Die geringe Eigenfrequenzabweichung infolge der Dämpfung kann an dieser Stelle vernachlässigt werden). Die dem Pegelmaximum dieses Resonanzgipfels entsprechende Frequenz $f_{2;0}$ (in Hz) wird notiert. (Bedeutung der Indizierung $f_{n;m}$: Anzahl der in Querrichtung des Streifens verlaufenden Knotenlinien $n=2$; Anzahl der Knotenlinien in Längsrichtung $m=0$; Die entsprechende Eigenschwingungsform ist mittels der (gestrichelten) Linien maximaler Auslenkung 21 in Fig. 11 symbolisiert).

[0037] Die Schallgeschwindigkeit (c_L) der Longitudinalwellen (in m/s) ist wie folgt definiert:

$$C_L = (0.98 * f_{2;0} * L^2) / D_m$$

[0038] Darin ist L die Streifenlänge (in m), D_m die mittlere Streifendicke (in m), sowie $f_{2;0}$ die Resonanzfrequenz (in Hz). (Sofern die Streifendicke gemäß Anspruch 5 nicht konstant ist, wird über die unterschiedlichen Dicken gemittelt und eine mittlere Streifendicke D_m angesetzt.)

[0039] Die mittlere Gesamtdichte ρ des Streifens errechnet sich aus $\rho = m/V$. Darin ist m die Gesamtmasse (in g) und V das Gesamtvolumen (in m^3) des Streifens. Das Gesamtvolumen V wird durch Abmessen der Streifendimensionen (Streifenlänge L (in m), Streifenbreite B (in m), sowie der mittleren Streifendicke D_m (in m)) entsprechend $V = L * B * D_m$ bestimmt.

[0040] In Fig. 12 ist der der Erfindung zugrundeliegende, physikalisch wesentliche Zusammenhang der Dickenabhängigkeit des Qualitätsquotienten QM dargestellt: Auf der X-Achse ist die Streifendicke D_m (in mm), auf der Y-Achse der Qualitätsquotient QM (in m^4/sg) aufgetragen. Die mit A (Ahorn) und F (Fichte) bezeichneten Kurven stellen den Qualitätsquotienten der herkömmlicher Weise für Resonanzplatten verwendeten Holzarten dar. Es zeigt sich, daß er dickenunabhängig ist und in dieser Testreihe für Fichte bei $0.0155 m^4/sg$ und für Ahorn bei $0.0067 m^4/sg$ lag. Die mit VS bezeichnete Kurve zeigt den Qualitätsquotienten Q_M für die als Faserverbund-Sandwich gefertigten Teststreifen der erfindungsgemäßen Resonanzplatte. Deutlich ist die Verschlechterung dieses Quotienten Q_M bei Verringerung der Streifendicken unter 4 mm erkennbar. Je nach Materialbeschaffenheit der Kernplatte und des Faserverbund-Werkstoffs (Faser-Flächengewicht; Harzgehalt u. s.w), sowie je nach Kernplattenaussparungen und Faserbeschichtung (Richtung und Dichte) erhält man unterschiedliche Kurven VS, d.h. unterschiedliche Abhängigkeiten des Qualitätsquotienten QM von der Plattendicke. Gemäß Anspruch 2 wird die Dicke der Resonanzplatte so dimensioniert, daß der Qualitätsquotient Q_M wenigstens eines aus der Resonanzplatte geschnittenen Teststreifens wenigstens 90% des mit dem gewählten Faserverbund-Werkstoff erzielbaren Maximalwertes aufweist. Diese 90%-Linie 28 ist in Fig. 12 für den

dort zugrundegelegten Faserverbund-Werkstoff eingezeichnet.

[0041] Die Funktion VS in Fig. 12 macht sofort einsichtig, daß eine Kompensation der Eigenfrequenz-Erhöhen der Resonanzplatte durch Verkleinerung ihrer Dicke zu einer Verschlechterung der akustischen Qualität führt. Erfindungsgemäß wird demgegenüber die klanglich notwendige Eigenfrequenz-Erniedrigung durch eine Vergrößerung des vom Umriß der Resonanzplatte umgrenzten Flächeninhalts erreicht. Die Fig. 13 und 14 zeigen dafür ein Ausführungsbeispiel. Da die Breite der Resonanzplatte in erster Näherung in zweiter Potenz in die Eigenfrequenzen eingeht, kann bereits eine relativ geringe Verbreiterung des Umrisses 23 der erfindungsgemäßen, mit Faserverbundbeschichtung 24 aufgebauten Resonanzplatte um etwa 5% gegenüber dem herkömmlichen Umriß 22 (gestrichelt eingezeichnet) die geforderte Frequenzverschiebung bewerkstelligen.

[0042] Die Kernplatte 26 der Resonanzplatte weist, wie in Fig. 14 an einem Segment dargestellt, gemäß Anspruch 4 Aussparungen 27 auf, wobei das Gesamtvolumen aller Aussparungen höchstens 80 %, vorzugsweise zwischen 20 und 45 % des von Material erfüllten Gesamtvolumens der Kernplatte beträgt. Dieses Merkmal gestattet eine Verbesserung des Masse-StEIFIGKEITS-Verhältnisses der Resonanzplatte. Gemäß Anspruch 5 besitzt das in Fig. 14 dargestellte Segment der Resonanzplatte eine unterschiedliche Dicke D. Gemäß Anspruch 6 weist es eine multidirektionale Faserbeschichtung auf, die aus nicht parallel angeordneten Fasern 25 besteht.

Patentansprüche

1. Resonanzplatte in Faserverbund-Bauweise, enthaltend wenigstens eine aus Langfasern und Trägermaterial bestehende Faserbeschichtung, zur Verwendung für ein akustisches Musikinstrument, insbesondere ein Streichinstrument, **gekennzeichnet durch** die Kombination folgender Merkmale:

a) wenigstens ein aus der Resonanzplatte geschnittener Teststreifen weist einen Qualitätsquotienten ($Q_M = c_L/\rho$) von mindestens $0,02 m^4/sg$, vorzugsweise von mindestens $0,04 m^4/sg$ auf, wobei c_L die Schallgeschwindigkeit (in m/s) der Longitudinalwellen in Längsrichtung des Teststreifens und ρ die mittlere Gesamtdichte (in g/m^3) des Teststreifens ist;

b) der vom Umriß der Resonanzplatte umgrenzte Flächeninhalt der Resonanzplatte ist so groß gewählt, daß

b1) die Frequenz der Hauptkorpusresonanz (B1-Mode) von Streichinstrumenten

in folgenden Bereichen liegt:

- bei der Violine zwischen 480 und 580 Hz, vorzugsweise zwischen 510 und 550 Hz, 5
- bei der Viola zwischen 380 und 500 Hz, vorzugsweise zwischen 420 und 460 Hz,
- beim Violoncello zwischen 150 und 210 Hz, vorzugsweise zwischen 170 und 190 Hz, 10
- beim Kontrabass zwischen 80 und 120 Hz, vorzugsweise zwischen 90 und 110 Hz, 15

b2) die Frequenz der zweittiefsten Korpusresonanz (0,0-Mode) bei der Gitarre zwischen 180 und 240 Hz, vorzugsweise zwischen 190 und 220 Hz, liegt,

b3) die Frequenz der tiefsten Resonanz (0,0-Mode) des Klavier- bzw. Konzertflügelresonanzbodens zwischen 40 und 60 Hz, vorzugsweise zwischen 45 und 55 Hz, liegt. 20

- 25
2. Resonanzplatte nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine solche Dicke der Resonanzplatte, daß für den vorgegebenen Faserverbund-Werkstoff der Qualitätsquotient Q_M wenigstens eines aus der Resonanzplatte geschnittenen Teststreifens wenigstens 90% des mit diesem Faserverbund-Werkstoff erzielbaren Maximalwerts aufweist. 30
 3. Resonanzplatte nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie eine Kernplatte und wenigstens eine aus Langfasern und Trägermaterial bestehende äußere Faserbeschichtung enthält. 35
 4. Resonanzplatte nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kernplatte innerhalb der durch den Umriß der Resonanzplatte umgrenzten Fläche wenigstens eine Aussparung aufweist, wobei das Gesamtvolumen aller Aussparungen höchstens 80 %, vorzugsweise zwischen 20 und 45 %, des von Material erfüllten Gesamtvolumens der Kernplatte beträgt. 40 45
 5. Resonanzplatte nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** einzelne Bereiche der Kernplatte eine unterschiedliche Dicke aufweisen. 50
 6. Resonanzplatte nach Anspruch 1, daß die Faserbeschichtung einlagig und zugleich multidirektional ist. 55

Fig. 1

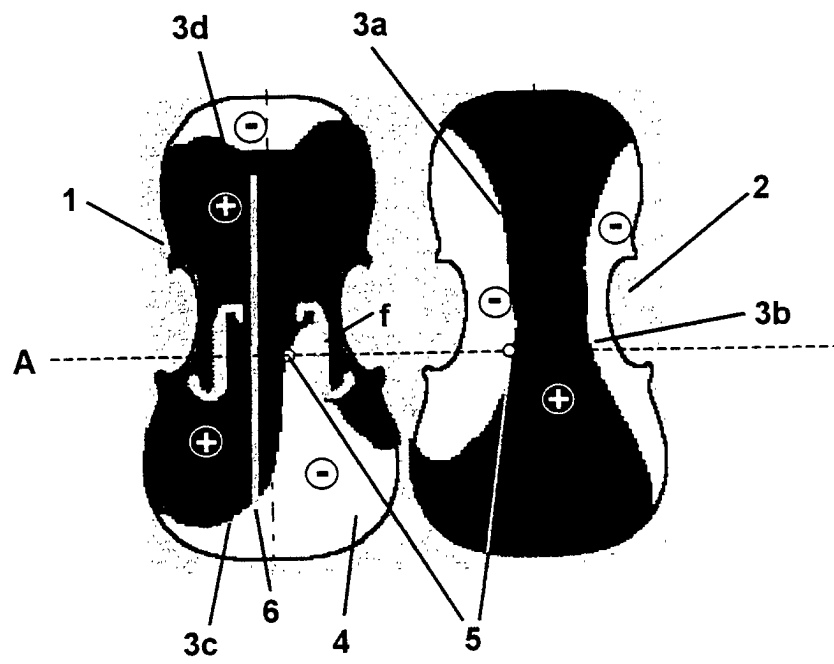


Fig. 2

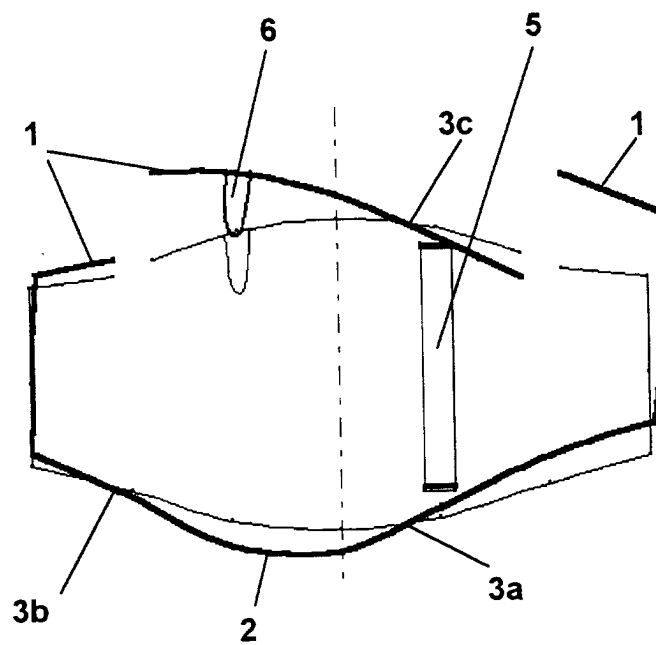


Fig.3

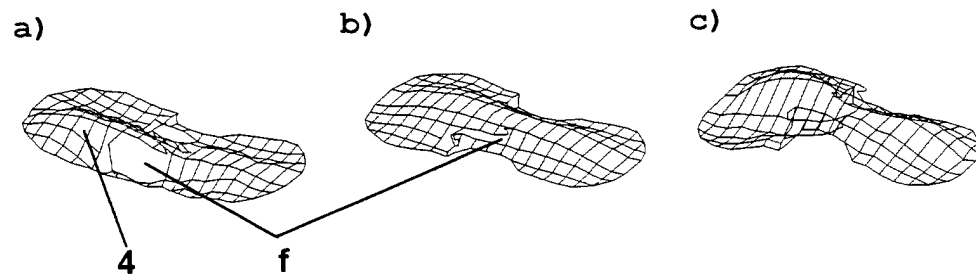


Fig.4

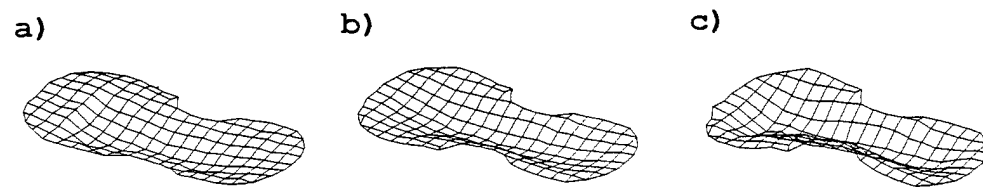


Fig. 5

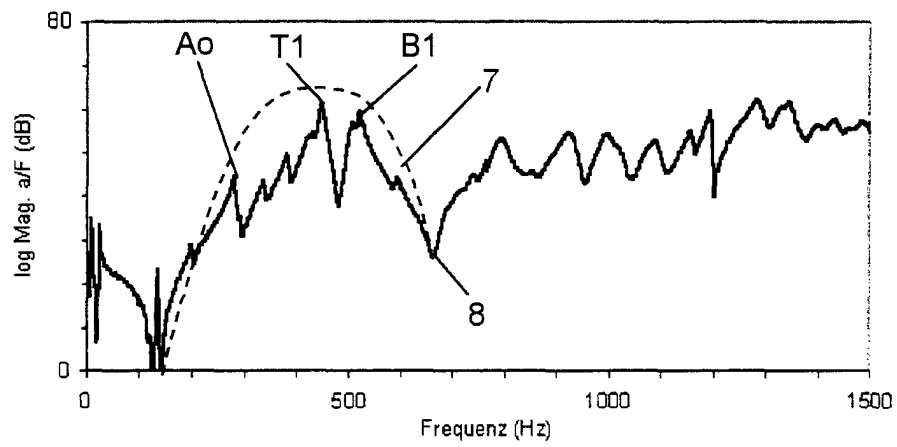


Fig. 6

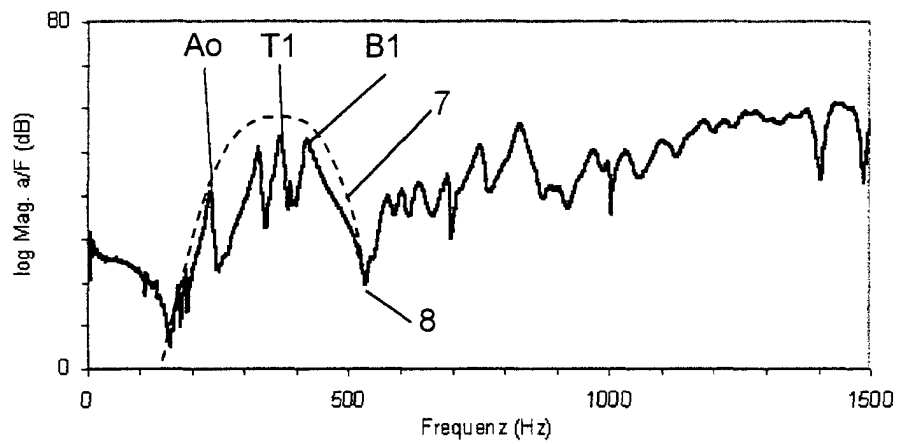


Fig. 7

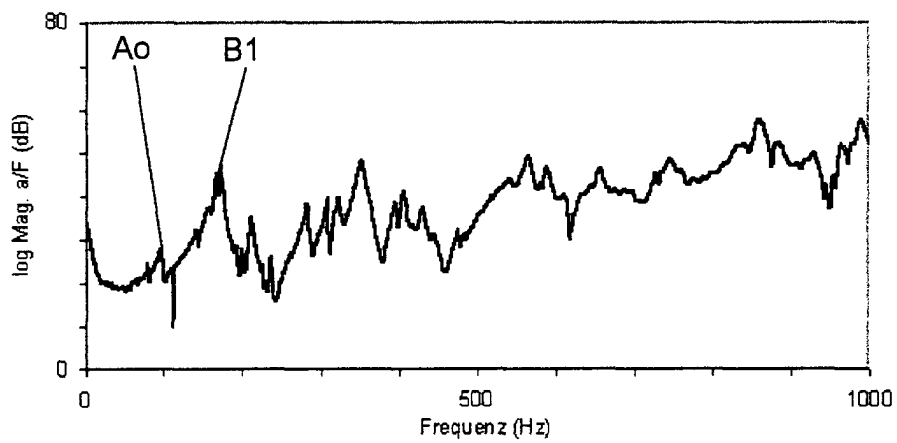


Fig. 8

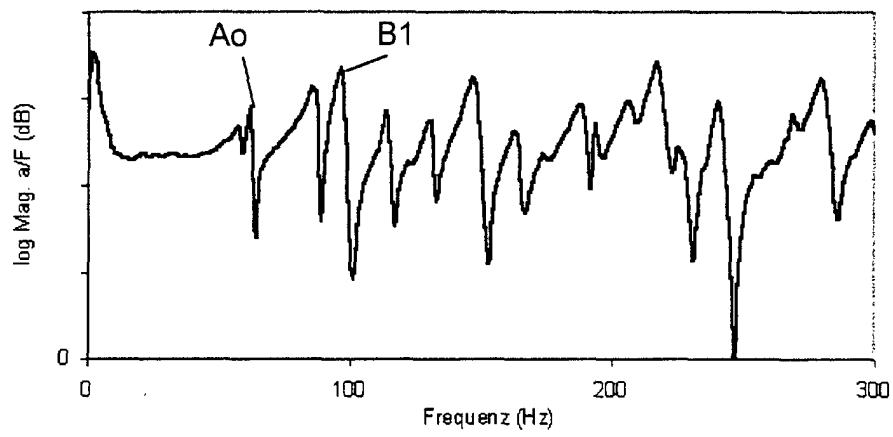


Fig. 9

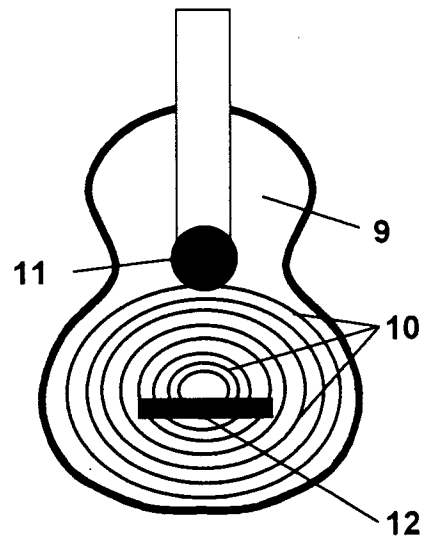


Fig. 10

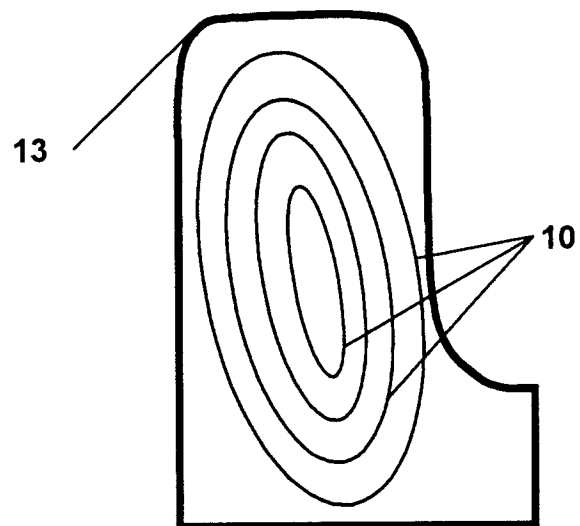


Fig. 11

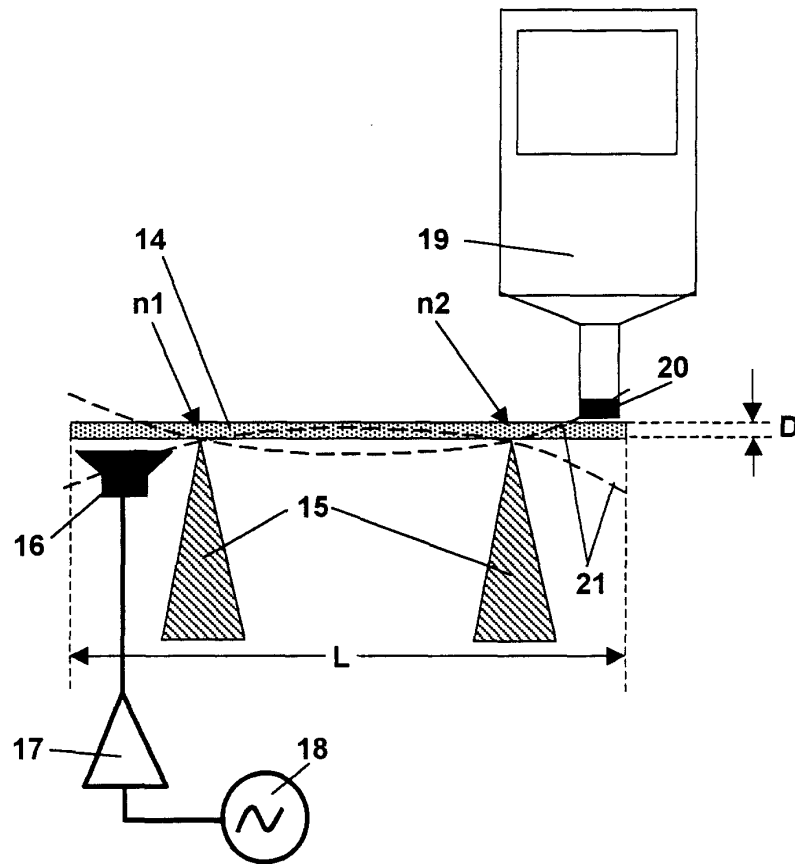


Fig. 12

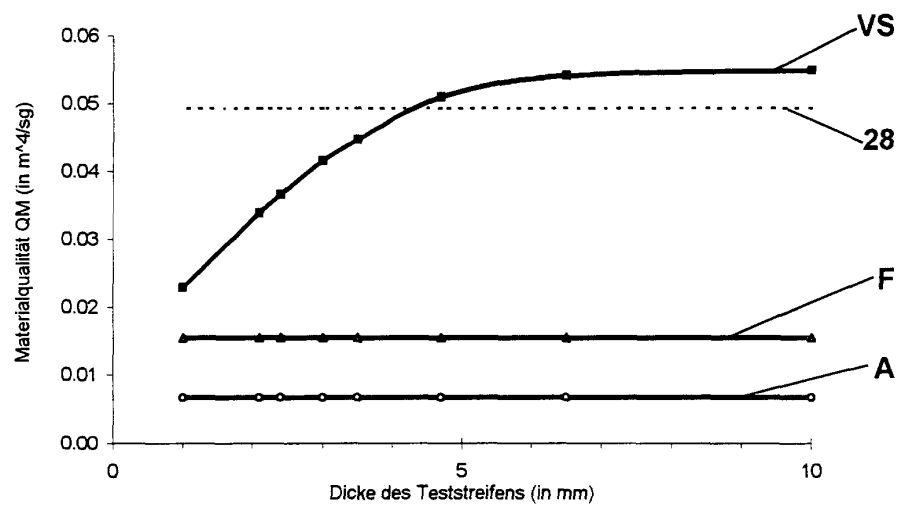


Fig. 13

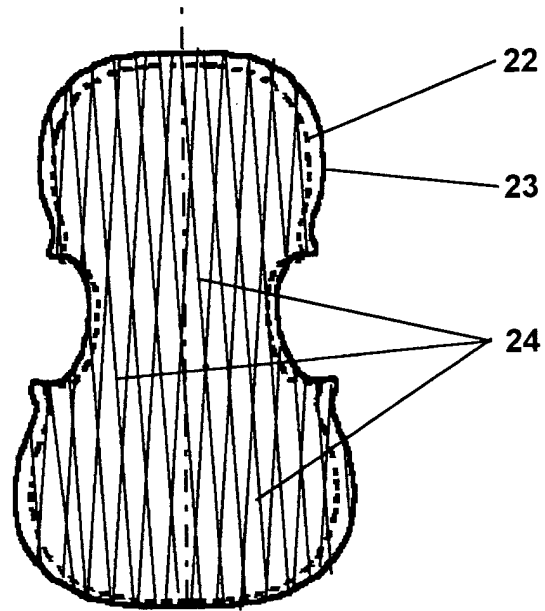


Fig. 14

