

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 156 333 B1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift: 11.09.91

(51) Int. Cl.⁵: **H04R 5/027**

(21) Anmeldenummer: **85103440.5**

(22) Anmeldetag: **23.03.85**

(54) **Kunstkopf-Messsystem.**

(30) Priorität: **27.03.84 DE 3411236**
15.03.85 DE 3509376

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.10.85 Patentblatt 85/40

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung:
11.09.91 Patentblatt 91/37

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 879 704
DE-A- 3 146 706

RUNDFUNKTECHNISCHE MITTEILUNGEN,
Band 22, Nr. 1, Februar 1978, Seiten 28-31,
Hamburg, DE; P. LAWS et al.: "Ein spezielles
Konzept zur Realisierung eines Kunstkopf-
fes für die Kopfbezogene Stereophone Auf-
nahmetechnik"

FUNKSCHAU, Nr. 7, April 1982, Seiten
72,77,78, München, DE; K. GENUIT:
"Entstehung eines Kunstkopfsystems"

(73) Patentinhaber: **HEAD acoustics GmbH Kopf-
bezogene Aufnahme- und Wiedergabetechn-
ik Messtechnik**
Kaiserstrasse 100
W-5120 Herzogenrath 3 (Kohlscheid)(DE)

(72) Erfinder: **Genuit, Klaus, Dr.**
Wildbacher Mühle 77
W-5100 Aachen(DE)

(74) Vertreter: **Otte, Peter, Dipl.-Ing.**
Tiroler Strasse 15
W-7250 Leonberg(DE)

EP 0 156 333 B1

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).

Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Kunstkopf-Meßsystem nach der Gattung des Hauptanspruchs. Bei einem breitbandigen, rauscharmen Kunstkopf mit hoher Dynamik (DE-A 31 46 706) ist es bekannt, genaue Nachbildungen der akustisch wichtigen, geometrischen Strukturen von Kopf, Ohrmuscheln und Schultern bei einem elektroakustischen Schallaufnahmesystem (Kunstkopf) mit speziellen akustischen, elektroakustischen und elektronischen Mitteln so zu kombinieren, daß die möglichst akustisch originalgetreue Übertragung erreicht wird. Wesentliche Maßnahmen zur Erreichung dieses Zwecks bestehen bei dem bekannten Kunstkopf darin, daß die akustisch wichtigen geometrischen Abmessungen an der Kopfnachbildung und auch an den Ohrmuschelnachbildungen über maßhaltige Abdrücke in plastischem Material entsprechenden Abmessungen von ausgesuchten lebenden Personen nachgebildet sind, wobei die Kopfnachbildung insbesondere ein maßgetreues Abbild des Kopfes einer solchen Versuchsperson darstellen soll, deren Kopf in guter Näherung durchschnittliche Abmessungen aufweist. Ein solcher bekannter Kunstkopf ermöglicht daher eine originalgetreue Übertragung von Hörereignissen, ist aber insofern problematisch, als, und zwar gerade wegen des Versuchs, möglichst natur- oder maßgetreu den Kopf nachzubilden, keine vollständige Kalibrierfähigkeit des Systems erreicht werden kann. Dies bedeutet aber mit anderen Worten, daß die Außenohrübertragungsfunktion des jeweiligen Kunstkopfes, mit dem man arbeitet, jeweils durch Messung wieder neu ermittelt werden muß und man daher beispielsweise, was für die akustische Meßtechnik von erheblicher Bedeutung ist, nicht einfach aus den gemessenen Signalen auf Art und Charakteristik des auf den Kunstkopf als Meßsystem einwirkenden Schallereignisses rückschließen kann. Meßergebnisse müssen aber reproduzierbar sein, genau so wie die zur Messung verwendeten Meßsysteme, und daher liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Kunstkopfmeßsystem zu schaffen, welches trotz der für den Fachmann erkennbaren, extrem komplexen Gesamtstruktur, die sich beispielsweise aus Kopf, Hals, Schulternachbildung und Ohrmuschelnachbildung zusammensetzt, kalibrierfähig ist.

Vorteile der Erfindung

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs und hat den Vorteil, daß ein im gesamten Audiobereich wirksamer, voll kalibrierfähiger Kunstkopf als Meßsystem für Schallereignisse geschaffen ist, welches, da es auf einfache Körper und Teilkörper zurückgeführt ist, die jedenfalls für den Fachmann in ihrem akustischen Verhalten (Reflexion, Beugung, Ohrresonanz u. dgl.) berechenbar sind, insgesamt durch die genau definierte, vereinfachte äußere Geometrie ohne Einschränkung der Richtungsabbildung einer Wiedergabe der Kunstkopfmikrofonsignale über einen freifeldentzerrten Kopfhörer zugänglich ist. Daher kann ein solches voll kalibrierfähiges Kunstkopf-Meßsystem mit besonderem Vorteil sowohl in der akustischen Meßtechnik als hilfreiches Meß-, Kontroll- und Überwachungsinstrument eingesetzt werden als auch als Aufnahmemikrofon für Sprache und Musik im Rundfunkbereich verwendet werden.

Drei Einsatzbereiche des erfindungsgemäßen voll kalibrierbaren Kunstkopf-Meßsystems seien im folgenden genannt:

1. Das Kunstkopf-Meßsystem kann als Referenzversuchsperson in der Psychoakustik eingesetzt werden, da es im Gegensatz zu einer Versuchsperson mit eingesetzten Sondenmikrofonen ein sog. LTI-System * mit in allen Testsituationen unveränderten, überprüfbaren Übertragungseigenschaften bildet.
2. Das erfindungsgemäße Kunstkopf-Meßsystem ist als Meßmikrofon in der akustischen Meßtechnik (beispielsweise für Messungen von Kopfhörern und Schallschützern) sowie der Geräuschdiagnose mit besonderem Vorteil einsetzbar. Bisherige Meßverfahren arbeiteten u. a. beispielsweise zur Bestimmung des A-bewerteten Schallpegels unter Verwendung von Mikrofonen mit kugelförmiger Richtcharakteristik; demgegenüber weist jedoch das menschliche Außenohr eine völlig anders geartete Richtcharakteristik auf. Messungen, die diese subjektive Richtcharakteristik des menschlichen Außenohrs nicht berücksichtigen, sind nicht verallgemeinerbar und treffen auch nicht das eigentliche Ziel des Meßverfahrens. Durch die Verwendung des erfindungsgemäßen Kunstkopfes als Meßmikrofon besteht jetzt die Möglichkeit, Geräusche mittels einer Aufzeichnungseinheit zu archivieren und eine subjektive Beurteilung von Geräuschen oder Lärminderungsmaßnahmen durchzuführen - hierbei ist mit subjektiv die Bezogenheit gemeint auf den Nachrichtenempfänger "menschliches Gehör". Ein solches subjektives Meßverfahren führt dann in der Regel sehr schnell zu einem eindeutigen Ergebnis in der Beurteilung, da das Gehör

* Linear Time Invariant

eine größere Anzahl von Parametern in einem angebotenen Schallereignis auswertet als die "objektive" Meßtechnik. So ist es beispielsweise aus der Praxis bekannt, daß ein Geräusch mit höherem Abewerteten Pegel subjektiv gegebenenfalls als weniger lästig eingestuft werden kann.

3. Der Einsatz des erfindungsgemäßen kalibrierfähigen Kunstkopf-Meßsystems als Aufnahmefunktion im tontechnischen Bereich. Ein Schallereignis setzt sich in der Regel aus den vom Schallquellenort direkt ausgehenden Schallanteilen und den zeitlich verzögerten, aus unterschiedlichen Richtungen eintreffenden Reflexionen zusammen. Bei herkömmlichen Aufnahmeverfahren werden entweder nur die direkten Schallanteile aufgezeichnet oder die Reflexionen werden nicht mit einer dem Außenohr äquivalenten Richtcharakteristik bewertet; hier schafft die Erfindung eine entscheidende und vor allen Dingen durch die Kalibrierfähigkeit allgemeingültige Abhilfe.

Dabei haben Untersuchungen und Messungen an dem erfindungsgemäßen Kunstkopf-Meßsystem ergeben, daß dieses in der Richtcharakteristik der mittleren Richtcharakteristik des Menschen entspricht, ein Eigenrauschen ist nicht wahrnehmbar, so daß Hörversuche auch im Bereich der Hörschwelle ermöglicht sind und die Dynamik entspricht dem menschlichen Gehör bis zur Schmerzgrenze, so daß auch Pegelspitzen unverzerrt erfaßt werden können (so erzeugt beispielsweise Schlüsselklirren oder Händeklatschen in 1 m Entfernung vom Ohr Schallpegelspitzen der Dauer von etwa 0,05 ms von ca. 135 dB).

Durch die Reduzierung der äußeren Geometrie des erfindungsgemäßen Kunstkopf-Meßsystems auf die akustisch relevante Geometrie, wie sie als wesentlicher erfinderischer Teilschritt vorgenommen worden ist, ergibt sich die Möglichkeit, die bisher mathematisch nicht berechenbaren Außenohrübertragungsfunktionen (nicht berechenbar wegen der komplexen äußeren Umrandung von Ohrmuschel, Kopf, der komplexen inneren Struktur der Ohrmuschel u. dgl., was sich einer genauen Kalibrierung entziehen muß) mathematisch und meßtechnisch zu beschreiben, also zu erfassen und vorzugeben und nachzuweisen, daß die vom erfindungsgemäßen Kunstkopf-Meßsystem realisierte Außenohrübertragungsfunktion der entspricht, wie sie subjektiv bei real existierenden Versuchspersonen so oder mit nur so geringen Abweichungen ergibt, daß sie im hier insoweit maßgebenden technischen Rahmen praktisch mit einer Übereinstimmung gleichzusetzen ist. Die Erfindung leistet daher ein vom geometrischen Aufbau her kalibrierfähiges Kunstkopf-Meßsystem, wobei, um diesen Weg gehen zu können, von der Erkenntnis ausgegangen werden mußte, daß aufgezeigt werden kann, daß man nicht die exakten Beugungsintegrale zur Berechnung der Übertragungsfunktion lösen muß, die an sich zugrunde zu legen sind, sondern durch die Reduzierung auf die kalibrierfähigen, berechenbaren Körper wie Kugel, Zylinder, Zylinder mit Bohrung, Ellipse u. dgl. ein reproduzierbares Gesamtsystem geschaffen werden kann, welches, da in den Teilen kalibrierfähig, insgesamt ebenfalls kalibrierfähig ist.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche und in diesen niedergelegt.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

- 40 Fig. 1 eine Seitenansicht,
- Fig. 2 eine Ansicht von oben und
- Fig. 3 eine Ansicht von vorn auf das erfindungsgemäße Kunstkopf-Meßsystem;
- Fig. 4a in relativ hierzu vergrößerter Darstellung eine Draufsicht auf eine erste Ausführungsform einer Ohrmuschelnachbildung und
- 45 Fig. 4b die Ohrmuschelnachbildung der Fig. 4a im Schnitt so, daß die einzelnen Höhlungen in ihrer vollen Form erkennbar sind und
- Fig. 5 die Ohrmuschel-Nachbildung der Fig. 4a geschnitten längs der Linie $\overline{V} - \overline{V}$;
- Fig. 6 das (einkanalige) Blockschaltbild des Kunstkopf-Meßsystems,
- Fig. 7 die Freifeld-Übertragungsfunktion für Schalleinfall von vorn in Form eines Diagramms einmal
- 50 für das erfindungsgemäße Kunstkopf-Meßsystem mit vereinfachter mittlerer Geometrie, ferner für einen Kunstkopf mit genauer Nachbildung der äußeren Geometrie (beim Menschen);
- Fig. 8 zeigt den Verlauf monauraler Kunstkopf-Übertragungsfunktionen für verschiedene Schalleinfallrichtungen im Vergleich zu mittleren Übertragungsfunktionen von Versuchspersonen (Kunstkopf mit genauer Nachbildung);
- 55 Fig. 9 zeigt in Form eines Diagramms den Bereich der sogenannten Hörfläche des Kunstkopf-Meßsystems im Vergleich zur menschlichen Hörfläche und
- Fig. 10 zeigt in Form eines Diagramms Kurvenverläufe zur Richtcharakteristik des Kunstkopf-Meßsystems für unterschiedliche Schalleinfallrichtungen im Vergleich zu einem Kunstkopf-Meßsystem

stem mit genauer Kopf- und Ohrmuschelnachbildung sowie einer mittleren Versuchsperson.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

5 Der Grundgedanke vorliegender Erfindung besteht darin, das gesamte Kunstkopf-Meßsystem dadurch kalibrierfähig zu machen, daß vom die Richtcharakteristik des Systems bestimmenden geometrischen Aufbau her die äußere beschreibbare Geometrie auf die akustisch relevante Geometrie, so wie sie sich durch Rechnung und Messung ergeben hat, begrenzt wird, mit der sich hieraus ergebenden Folgerung, das Kunstkopfmeßsystem aus einzelnen Teilkörpern vorgegebener Abmessungen und vorgegebener relativer
10 Position zueinander aufzubauen, die selbst aus geometrisch einfachen Körpern wie Zylinder, Ellipse, Quader oder Kugel ableitbar, daher auch mathematisch berechenbar sind.

Ein weiterer Hinweis ist noch erforderlich. In Abweichung zur üblichen Patentpraxis, bei der Abmessungen bzw. Dimensionsangaben eher, bis auf Ausnahmefälle, von untergeordneter Bedeutung sind, sind bei vorliegendem Kunstkopf-Meßsystem solche Dimensionsangaben, soweit sie sinngemäß als innerhalb vorgegebener Streuungsgrenzen liegend verstanden werden, durchaus auch für die Realisierung der Erfindung
15 relevant, und zwar deshalb, weil die Außenohrübertragungsfunktion des Kunstkopfes, die Richtcharakteristik u. dgl. maßgebend nicht nur von den Abmessungen, sondern auch von der relativen Lage der einzelnen Teilkörper zueinander, beispielsweise und insbesondere auch der Art der Ohrmuschelapproximation sowie deren Position, bestimmt sind.

20 Daher enthalten beispielsweise die Figuren 4a, 4b und Fig. 5 effektive Maßangaben in Millimetern; in den Figuren 1, 2 und 3 sind mit einem Sternchen oben bezeichnete Zahlen vorhanden, die sich aus einer im folgenden noch anzugebenden Tabelle auf bestimmte Größen, Abmessungen und Dimensionsangaben, Winkel u. dgl. beziehen lassen.

Durch im Kern an komplizierten mathematischen Darstellungen und Termen (Beugungsintegrale u. dgl.)
25 und zur technisch sinnvollen Realisation durchgeführte Vereinfachungen dieser Ausdrücke basierende Untersuchungen hat sich ergeben, daß die akustisch wirksame Geometrie eines voll kalibrierfähigen Kunstkopf-Meßsystems entsprechend den Darstellungen der Figuren 1, 2 und 3 auf die folgenden Parameter vereinfacht werden kann, nämlich Oberkörper und Schulter 10, die im wesentlichen die Richtcharakteristik in der Medianebene bestimmen, zweitens den Kopf 11, dessen Beugungswellen und Reflexionen
30 maßgeblich die Richtcharakteristik in der horizontalen Ebene bestimmen, und drittens der Form und Art der Ohrmuschel und deren Position und Lage am Kopf, deren Einfluß in der Horizontal- und besonders in der Medianebene (cavum conchae Umrandung) zur Geltung kommt. Der Kopf 11 hat in der Medianebene keinen signifikanten Einfluß auf die Außenohrübertragungsfunktion, die akustische Wirksamkeit der Schulter beschränkt sich im wesentlichen auf den Frequenzbereich unterhalb 2000 Hz.

35 Dabei erfüllt der Oberkörper 10 bei dem erfindungsgemäßen Kunstkopf-Meßsystem nicht nur die Aufgabe als Beugungskörper, sondern dient zweckmäßigerweise auch gleichzeitig zur Aufnahme der notwendigen elektronischen Komponenten sowie einer Aufzeichnungseinheit, wodurch das System völlig unabhängig von anderen Geräten betrieben werden kann. Breite und Tiefe des Oberkörpers 10 entsprechen den Abmessungen der Schulter; da der Oberkörper eine sitzende Versuchsperson nachbilden soll, vergrößert sich die Tiefe nach unten hin auf beispielsweise 450 mm, so daß die Vorderseite einen Winkel von ca.
40 20° zur Senkrechten aufweist bei einer Höhe von 450 mm. Es wird gebeten, weitere Abmessungsangaben, soweit sie nicht im Text gesondert aufgeführt sind, der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen, in welcher die mit einem Sternchen versehenen Hinweisziffern neben der Angabe, um welchen Parameter es sich handelt, sowohl einen Mittelwert einer sich als besonders geeigneten Abmessungsangabe als auch einen Streuwert
45 angeben. Sämtliche durch solche mit Sternchen gekennzeichneten Nummern bezeichneten Abmessungen wurden durch Mittelwertbildung von sieben geometrisch vermessenen Versuchspersonen (männlich) bestimmt.

50

55

Tabelle
(mit Bezugsebene BE Mittelpunkt Ohrkanal)

	Nr.	Parameter	Mittelwert/cm	Streuung/cm
5	1*	Schulterbreite	49,6	2,8
	2*	Schultertiefe	26,9	2,9
10	3*	Schulterschräge	23,3	2,9 Grad
	4*	Bezugsebene über Schulter	16,0	1,1
	5*	Bezugsebene von oben	15,6	1,1
	6*	Bezugsebene von unten	10,5	0,5
15	7*	Bezugsebene von vorne	11,6	0,6
	8*	Bezugsebene von hinten	10,2	0,5
	9*	Bezugsebene-Winkel	11,9	4,6 Grad
	10*	Kopfbreite	17,7	1,5
20	11*	Kopfhöhe	26,1	1,0
	12*	Kopftiefe	21,7	0,6
	13*	Kopfradius oben	8,6	0,9
	14*	Mitte über Bezugsebene	7,0	1,1
25	15*	Kopfradius unten	6,6	1,3
	16*	Mitte über Bezugsebene	2,5	0,7
	17*	Kopfradius seitlich	11,9	0,7
30	18*	Mitte über Bezugsebene	4,1	1,3
	19*	Mitte neben Bezugsebene	1,4	1,0
	20*	Halsbreite	10,4	0,8
	21*	Halstiefe	11,7	1,0
35	22*	Halswinkel	35,9	3,1 Grad
	23*	Kinn vor Bezugsebene	9,4	0,5
	24*	Ohrmuschel Höhe	7,0	0,6
	25*	Ohrmuschel Breite	3,5	0,3
40	26*	Ohrmuschel Neigung	12,4	5,3 Grad
	27*	Mitte über Bezugsebene	1,3	0,2
	28*	Mitte neben Bezugsebene	0,5	0,1
	29*	Cavum Conchae Höhe	3,0	0,2
45	30*	Cavum Conchae Breite	2,1	0,1
	31*	Cavum Conchae Tiefe	1,9	1,7
	32*	Mitte über Bezugsebene	0,4	0,1
50	33*	Mitte neben Bezugsebene	0,8	0,1
	34*	Kopfradius oben	7,1	1,1

Die abgewinkelte Vorderseite des Oberkörpers, wie sich am besten aus Fig. 1 entnehmen läßt, ist dessen maßgeblicher Teil, der die Außenohrübertragungsfunktion im unteren Spektralbereich richtungsabhängig beeinflusst. Eine genaue Berücksichtigung dieser Abmessungen beim Oberkörper ist aber nicht erforderlich, da dieser Teilkörper, der in seiner geometrischen Form eine abgeplattete Pyramide darstellt, nur für große Wellenlängen (0,25 m - 1,5 m) einen akustischen Einfluß auf die Außenohrübertragungseigen-

schaften aufweist. Die Richtcharakteristik des Oberkörpers und Schulter wird im wesentlichen bestimmt durch die vordere und die seitlichen abgeschrägten Flächen sowie durch die Höhe der Bezugsebene zur Schulter.

Die Kopfnachbildung 11 stellt, wie die Darstellungen der Figuren 2 und 3 zeigen, ein Ellipsoid dar und wird zur Vermeidung technischer Schwierigkeiten bei der Herstellung aus drei Teilkörpern zusammengesetzt, nämlich einer unteren Hälfte 11a, die einem in Längsrichtung geschnittenen Zylinder entspricht, einem Mittelstück 11b, welches einer ovalen Scheibe entspricht, und einem oberen Teilstück 11c, welches aus einem vorderen und hinteren Kugelviertel mit einer Kreisscheibenhälfte in der Mitte besteht. Mit der Halsnachbildung wird die Kopfhöhe entsprechend dem mittleren Abstand 4^* der Bezugsebene BE zur Schulter eingestellt.

Auch die komplizierte Formgestaltung der Ohrmuschel kann auf eine vereinfachte Form reduziert werden, beispielsweise so, wie dies in den Figuren 4a, 4b und 5 dargestellt ist. Von Bedeutung sind äußere und innere Umrandungen der Ohrmuschel, deren Beugungseigenschaften die Richtcharakteristik festlegen, sowie die Höhlungen - cavum conchae Ersatz -, die als akustische Resonanzverstärker zur Verbesserung des Signal/Rauschabstandes des Mikrofons beitragen. Auch die Abmessungen der Ohrmuschelnachbildung resultieren aus einer arithmetischen Mittelwertbildung der geometrischen Abmessungen von sieben Versuchspersonen; dabei sind, wie schon erwähnt, in den die Ohrmuschel darstellenden Figuren Abmessungen in Millimetern unmittelbar eingetragen.

Gefertigt wird die Ohrmuschelnachbildung aus einem Zylinder (Durchmesser ca. 70 mm), wobei das cavum conchae entweder durch eine einzige ovalförmige Vertiefung im Zylinder realisiert werden kann, die beispielsweise die Größenabmessungen Breite 21 mm, Höhe 30 mm und Tiefe 19 mm umfaßt, bei einen durch eine Bohrung mit einem Durchmesser von 8 mm gebildeten Ohrkanaleingang (in der Zeichnung nicht dargestellt) oder die Ohrnachbildung erfolgt nach dem Muster der Darstellung der Fig. 4a, 4b und 5 mit mehreren, ineinandergreifenden Bohrungen und Vertiefungen mit den in diesen Figuren angegebenen Abmessungen. Die endgültige Ohrmuschelnachbildung entsteht dann durch einen Längsschnitt 12 des Zylinders, etwa 10 mm aus der Mitte versetzt, wobei die weggeschnittenen Teile entfallen, sowie Abschrägungen gebildet sind von bei der Ohrmuschelnachbildung der Fig. 5 20° , und bei der Darstellung der Fig. 4b (90° gedreht) von 10° . Die Ohrmuschelnachbildung des anderen Ohrs ist dann entsprechend spiegelsymmetrisch ausgeführt; die Bezugsebene BE entspricht der Mikrofonebene, wobei ein Bezugspunkt BP im Mittelpunkt des Ohrkanaleingangs auf der Bezugsebene BE liegend noch definiert werden kann.

Wesentlich ist bei vorliegender Erfindung ferner, daß alle Teile des Kunstkopfes hinterschneidungsfrei sind, also bei Höhlungen keine hervorstehenden Teile gebildet sind, die durch eine innere Vergrößerung der Höhlung entstehen.

Dabei hat sich im übrigen herausgestellt, daß die genaue Position der Ohrmuschelnachbildung (sowie deren Lage) von wesentlicher Bedeutung zur Erzielung übereinstimmender Richtcharakteristiken bzw. zur Realisierung der Außenohrübertragungsfunktionen ist; mit anderen Worten bedeutet dies, daß die in Fig. 1 mit den Hinweiszeichen 5^* , 8^* , 6^* und 7^* kenntlich gemachten Abstände und Abmessungen eine besondere Bedeutung besitzen.

Da das erfindungsgemäße Kunstkopf-Meßsystem insbesondere auch für die Meßtechnik konzipiert ist, sind zur Sicherstellung der umfassenden Kalibrierfähigkeit Mikrofone zur Ankopplung an den Ohrkanaleingänge anzuordnen, die in geeigneter Weise der Forderung nach geringem Eigenrauschen gerecht werden und auch einen maximal zulässigen Schalldruckpegel aufweisen.

Als besonders geeignet haben sich herausgestellt 1/2 Zoll-Mikrofonmeßkapseln der Fa. Brüel + Kjaer mit der Bezeichnung B + K 4166, wobei als optimale Länge des Ohrkanals ein Abstand von 4 mm errechnet wurde. Die Lage der Mikrofonebene entspricht der Bezugsebene BE bei Messungen an Versuchspersonen.

In Fig. 6 sind die zur weiteren Verarbeitung der erfaßten Schalldrücke vorgesehenen elektrischen Komponenten dargestellt; die Mikrofonsignale gelangen über, jeweils einen Impedanzwandler 14 auf eine spezielle Entzerrerschaltung 15, wobei eine Umschaltungsmöglichkeit 16 auf einen Testtongenerator 17 vorgesehen ist, mit dessen Hilfe, beispielsweise für eine vorgegebene Frequenz von $f = 240$ Hz eine dem Schalldruck 94 dB äquivalente Mikrofonspannung erzeugt werden kann, so daß die nachfolgenden Meß- und Aufzeichnungsgeräte kalibriert werden können.

Die Entzerrerschaltung bestimmt sich bei dem erfindungsgemäßen Kunstkopf-Meßsystem so, daß bei Schalleinfall von vorn im Freifeld ein lineares, frequenzunabhängiges Übertragungsmaß am Kunstkopf-Ausgang gemessen werden kann (sog. Freifeldentzerrung). Der Betrag der Übertragungsfunktion der Entzerrerschaltung verhält sich dann invers zu der in Fig. 7 dargestellten Freifeld-Übertragungsfunktion des Kunstkopfes, wobei der durchgezogene Kurvenverlauf im Diagramm der Fig. 7 einen Kunstkopf mit genauer Nachbildung der äußeren Geometrie betrifft und die gestrichelte Darstellung das erfindungsgemäße, voll kalibrierfähige Kunstkopf-Meßsystem mit vereinfachter mittlerer Geometrie angibt.

Man erkennt schon aus dem Vergleich der Freifeld-Übertragungsfunktionen der Kunstköpfe nach Fig. 7, daß der Erfindung der Nachweis gelungen ist, bei Zugrundelegung der vereinfachten mittleren Geometrie bei einem Kunstkopf-Meßsystem einerseits dessen Kalibrierfähigkeit sicherzustellen und andererseits nur mit einem äußerst geringen, für die Meßtechnik praktisch belanglosen Fehler arbeiten zu können. Der Erfindung gelingt es daher in ganz entscheidender Weise, erstmalig auf dem Gebiet der Kunstkopf-Technologie ein System zu entwickeln, welches wegen der umfassenden Kalibrierfähigkeit einer weltweiten Standardisierung und Normung zugänglich ist. Hierauf soll kurz anhand eines möglichen Beispiels zum besseren Verständnis eingegangen werden.

Beispielsweise ist in der Praxis die Geräuscentwicklung von Kraftfahrzeugen, wie sie sich zum Vergleich bei Personenkraftwagen für den Fahrer ergibt, von erheblicher Bedeutung - bisher sind jedoch direkte Vergleiche durch ledigliche Schallpegelmessungen unmöglich, denn, wie eingangs schon angedeutet, können Fahrzeuge mit durchaus geringen Schallpegeln eine erheblich größere Lärmbelastigung (subjektiv) aufweisen als Fahrzeuge mit hohen Schallpegeln; außerdem ist ein direkter Vergleich zwischen einzelnen Fahrzeugtypen praktisch unmöglich, wegen der jeweils unterschiedlichen Meßverfahren und, soweit verwendet, Kunstkopfsysteme. Die Erfindung ermöglicht demgegenüber auch an beispielsweise zu den Kraftfahrzeugen entfernten Orten eine tatsächliche Vorführung der jeweiligen, vom Kraftfahrzeug entwickelten Geräuschkulisse über Kopfhörer, wobei auch direkte Vergleiche vorgenommen werden können; es ist auch möglich, in entsprechender Weise aufgezeichnete Geräuscentwicklungen, die an völlig anderen Orten und bei anderen Fahrzeugen aufgenommen worden sind, unmittelbar mit weiteren Aufnahmen oder direkten Messungen zu vergleichen, vorausgesetzt, es wird der erfindungsgemäße kalibrierfähige Kunstkopf zur Messung eingesetzt, der die Möglichkeit bietet, aus den gemessenen Signalen unmittelbar auf die tatsächlichen Schallwirkungen und Geräuscentwicklungen rückzuschließen, bezogen auf die Außenohrübertragungsfunktion mit Schalleinfall von vorn - Richtcharakteristik. Die Fig. 8 zeigt für unterschiedliche, jeweils angegebene Schalleinfallsrichtung die monauralen Übertragungsfunktionen jeweils des erfindungsgemäßen kalibrierfähigen Kunstkopf-Meßsystems (hier in durchgezogener Linienführung) sowie zum Vergleich eines Kunstkopfes mit genauer Nachbildung einer Versuchsperson an (mittlerer Versuchsperson); die für akustische Meßergebnisse geradezu verblüffende Übereinstimmung verdeutlicht ebenso wie die in Fig. 9 angegebene sogenannte Hörfläche des freifeldentzerrten Kunstkopfes im Vergleich zur menschlichen Hörfläche die erzielte umfassende Übereinstimmung.

Schließlich lassen sich den Diagrammverläufen der Fig. 10 Vergleiche der Richtcharakteristikeigenschaften für unterschiedliche Schalleinfallsrichtungen sowie bei Diffusfeldbeschallung entnehmen, wobei die Kurven a jeweils das erfindungsgemäße, kalibrierfähige Kunstkopf-Meßsystem betreffen, die Kurven b ein Kunstkopf-Meßsystem mit genauer Kopf- und Ohrmuschelnachbildung und die Kurven c eine mittlere Versuchsperson betreffen.

Der Erfindung gelingt es daher, durch Auswerten der akustisch relevanten, richtungsbestimmenden Parameter von Versuchspersonen und der mathematischen Erfassung und auch Vereinfachung am mathematischen Modell ein, beispielsweise zum Zwecke der Normung, voll kalibrierfähiges Kunstkopf-Meßsystem zu schaffen mit einer genau definierten, vereinfachten äußeren Geometrie, und zwar, was entscheidend ist, ohne Einschränkung der Richtungsabbildung bei Wiedergabe der Kunstkopf-Mikrofonsignale über einen freifeldentzerrten Kopfhörer. Ein solches System kann daher erstmals in der akustischen Meßtechnik als objektive Meßergebnisse lieferndes und Vergleiche ermöglichendes Meß-, Kontroll- und Überwachungsinstrument eingesetzt werden und in gleicher Weise als Aufnahmемikrofon für Sprache und Musik im Rundfunkbereich Verwendung finden.

Alle in der Beschreibung, den nachfolgenden Ansprüchen und der Zeichnung dargestellten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

Patentansprüche

1. Kunstkopf-Meßsystem mit Schulter-, Kopf- und Ohrnachbildung sowie beidseitigen Mikrofonen in den Gehörgangsnachbildungen, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung eines voll kalibrierfähigen Kunstkopf-Meßsystems mindestens der geometrische Aufbau des Kopfes aus einzelnen in ihren Abmessungen und relativen Positionen auf mittlere Daten von Versuchspersonen bezogenen Teilkörpern (11a, 11b, 11c) zusammengesetzt ist, wobei diese Teilkörper (11a, 11b, 11c) aus geometrisch einfachen, jeweils kalibrierfähigen bzw. in ihrem Schallreflexions-, Beugungs- und Resonanzverhalten berechenbaren Körpern wie Zylinder, Quader, Ellipse, Kugel, Pyramide u. dgl. bestehen oder aus diesen abgeleitet sind derart, daß sich eine auf die jederzeit reproduzierbaren und vereinfachten äußeren Geometriebedingungen bezogene, vorgegebene Kunstkopf-Übertragungsfunktion ergibt.

2. Kunstkopf-Meßsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Oberkörper/Schulternachbildung (10) in Form einer abgeplatteten Pyramide gebildet ist, die in eine von einem Zwischenzylinder gebildete Halsnachbildung übergeht, auf welcher die ellipsoide Kopfform angeordnet ist.
3. Kunstkopf-Meßsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kopfnachbildung einen unteren Teilkörper (11a) in Form eines in Längsrichtung geschnittenen Zylinders, einen mittleren Teilkörper (11b) in Form einer ovalen Scheibe und einen oberen Teilkörper (11c), bestehend aus einem vorderen und hinteren Kugelviertel mit einer Kreisscheibenhälfte in der Mitte, umfaßt.
4. Kunstkopf-Meßsystem nach einem der Ansprüche 1-3, dadurch gekennzeichnet, daß die Ohrmuschelapproximation von einem Zylinder gebildet ist, in welchem mindestens eine Vertiefung (cavum conchae) eingearbeitet ist, und daß der Vertiefungsgrund in den vom Ohrkanaleingang abgeschlossenen Ohrkanal übergeht.
5. Kunstkopf-Meßsystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der die Ohrmuschel nachbildende Zylinder längs eines einer Sekante folgenden Längsschnitts (12) geschnitten ist und eine Abschrägung zwischen 10 und 20°, von vorn nach hinten bzw. von unten nach oben ansteigend verlaufend, bildet.
6. Kunstkopf-Meßsystem nach einem der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, daß der von der Ohrmuschelnachbildung gebildete Ohrkanal in einer auch den Bezugspunkt für die Mikrofonanordnung enthaltenden Bezugsebene (BE) liegt, die nach vorn einen Abstand von etwa 12 cm, nach hinten einen Abstand von etwa 10 cm, nach oben einen Abstand von etwa 16 cm und nach unten (Bezugspunkt angenommene Kinnfläche) einen Abstand von ca. 10 cm aufweist.
7. Kunstkopf-Meßsystem nach einem der Ansprüche 1-6, dadurch gekennzeichnet, daß den im Ohrkanal in einem vorgegebenen Abstand zu dessen Eingang angeordneten Mikrofonkapseln (1/2 Zoll-B + K 4166-Mikrofonen) über ein Impedanzwandler ein Entzerrernetzwerk nachgeschaltet ist, welches einen inversen Verlauf zur Kunstkopf-Übertragungsfunktion aufweist.
8. Kunstkopf-Meßsystem nach einem der Ansprüche 1-7, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Bezugsebene (BE) in einem Abstand von etwa 16 cm über dem Schulterabschluß befindet.

35 Claims

1. An artificial-head measuring system with shoulder, head and ear reproduction and microphones on both sides in the auditory canal reproductions, characterized in that to form a completely calibratable artificial-head measuring system, at least the geometric composition of the head is made up of individual partial bodies (11a, 11b, 11c) whose dimensions and relative positions relate to average data from test persons, these partial bodies (11a, 11b, 11c) being composed of geometrically simple bodies which, in each case, are calibratable or have calculable sound reflection behaviour, diffraction behaviour and resonance behaviour, such as cylinders, parallelepipeds, ellipses, spheres, pyramids and the like, or being derived from these, in such a manner that there results a predetermined artificial-head transmission function related to the simplified, external geometrical conditions reproducible at any time.
2. An artificial-head measuring system in accordance with Claim 1, characterized in that there is formed an upper body/shoulder reproduction (10) in the form of a flattened pyramid merging into a neck reproduction which is formed by an intermediate cylinder and on which the ellipsoidal head shape is arranged.
3. An artificial-head measuring system in accordance with Claim 1 or 2, characterized in that the head reproduction comprises a lower partial body (11a) in the form of a cylinder cut in the longitudinal direction, a middle partial body (11b) in the form of an oval disc and an upper partial body (11c) composed of a front and a rear sphere quarter with a circular-disc half in the centre.
4. An artificial-head measuring system in accordance with any one of Claims 1-3, characterized in that the auditory canal approximation is formed from a cylinder in which at least one cavity (cavum conchae) is

made, and in that the cavity base merges into the ear canal shut off from the ear canal entrance.

- 5 5. An artificial-head measuring system in accordance with Claim 4, characterized in that the cylinder reproducing the auditory canal is cut along a longitudinal cut (12) following a secant and forms a slope between 10° and 20° , ascending from the front to the rear or from the bottom to the top.
- 10 6. An artificial-head measuring system in accordance with any one of Claims 1-5, characterized in that the ear canal formed from the auditory canal reproduction lies in a reference plane (BE) also comprising the reference point for the microphone arrangement and having a distance of about 12 cm forwards, a distance of about 10 cm to the rear, a distance of about 16 cm upwards and a distance of approximately 10 cm downwards (reference point assumed chin surface).
- 15 7. An artificial-head measuring system in accordance with any one of Claims 1-6, characterized in that an equalizer network is, via an impedance converter, subsequently connected to the microphone capsules (1/2 inch-B + K 4166-microphones) arranged in the ear channel at a predetermined distance from its entrance, this equalizer network having an inverse course to the artificial-head transmission function.
- 20 8. An artificial-head measuring system in accordance with any one of Claims 1-7, characterized in that the reference plane (BE) is located at a distance of about 16 cm above the shoulder edge.

Revendications

- 25 1. Système de mesure à tête artificielle comprenant une copie des épaules, de la tête et des oreilles ainsi que des microphones de part et d'autre dans les copies du canal auditif, système caractérisé en ce que pour former un système de mesure à tête artificielle complètement calibrable, on forme au moins la structure géométrique de la tête à partir de parties de corps (11a, 11b et 11c) dont les dimensions et les positions relatives sont rapportées aux données moyennes de personnes-cobayes, et ces parties de corps (11a, 11b, 11c) sont constituées par des corps géométriques simples, chaque fois calibrables et dont le comportement à la réflexion du son, à la diffraction et à la résonance sont calculables tels que 30 les cylindres, des cubes, des ellipses, des sphères, des pyramides ou analogues, ou en sont déduits et en ce qu'il en résulte une fonction de transfert prédéterminée de la tête artificielle, reproductible à tout moment et dont les conditions géométriques extérieures sont simplifiées.
- 35 2. Système de mesure à tête artificielle selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on forme une copie de la partie supérieure du corps/des épaules (10) sous la forme d'une pyramide écrasée qui rejoint une copie du cou constituée par un cylindre intermédiaire portant la forme ellipsoïdale de la tête.
- 40 3. Système de mesure à tête artificielle selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la copie de la tête comprend une partie de corps inférieure (11a) sous la forme d'un cylindre coupé dans la direction longitudinale, d'une partie moyenne de corps (11b) sous la forme d'un disque oval et d'une partie supérieure de corps (11c) constituée d'un quart de sphère avant et d'un quart de sphère arrière avec en leur milieu une moitié de disque circulaire.
- 45 4. Système de mesure à tête artificielle selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'approximation du pavillon de l'oreille est formée d'un cylindre dans lequel on usine au moins une cavité (cavum conchae) et le fond de la cavité débouche dans le canal auditif fermé par l'entrée du canal auditif.
- 50 5. Système de mesure à tête artificielle selon la revendication 4, caractérisé en ce que le cylindre copiant le pavillon de l'oreille est coupé par une coupe longitudinale (12) le long d'une sécante et forme une partie inclinée comprise entre 10° et 20° , allant en croissant de l'avant vers l'arrière et de bas en haut.
- 55 6. Système de mesure à tête artificielle selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le canal auditif formé par la copie du pavillon de l'oreille se situe dans un plan de référence (BE) contenant également le point de référence de l'emplacement du microphone, plan de référence qui est distant de la face avant d'environ 12 cm, et de l'arrière d'une distance de l'ordre de 10 cm, du haut d'une distance d'environ 16 cm et du bas d'une distance d'environ 10 cm (surface du menton prise comme point de référence).

7. Système de mesure à tête artificielle selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les capsules de microphone (microphone B + K 4166 d'un demi-pouce) placées à une certaine distance par rapport à l'entrée du canal auditif, sont reliées à un convertisseur d'impédance et à un circuit de correction qui présentent une caractéristique inverse de la fonction de transfert de la tête artificielle.

5

8. Système de mesure à tête artificielle selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le plan de référence (BE) se trouve à une distance d'environ 16 cm au-dessus des épaules.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

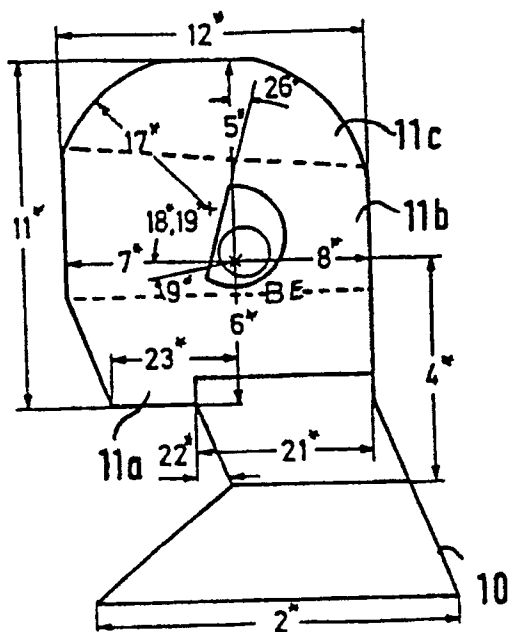


Fig. 1

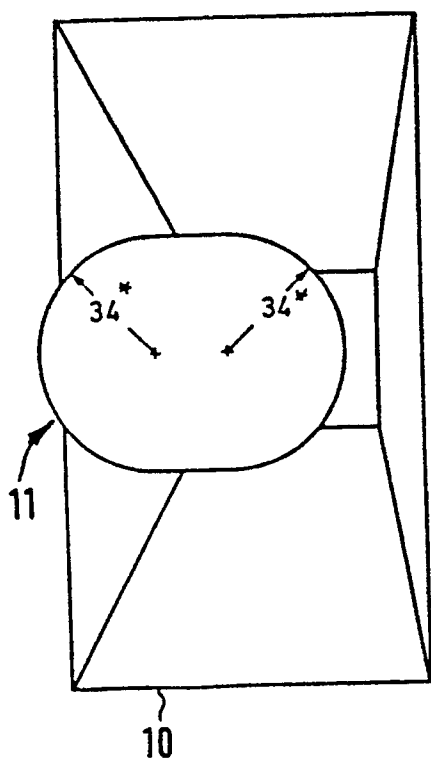


Fig. 2

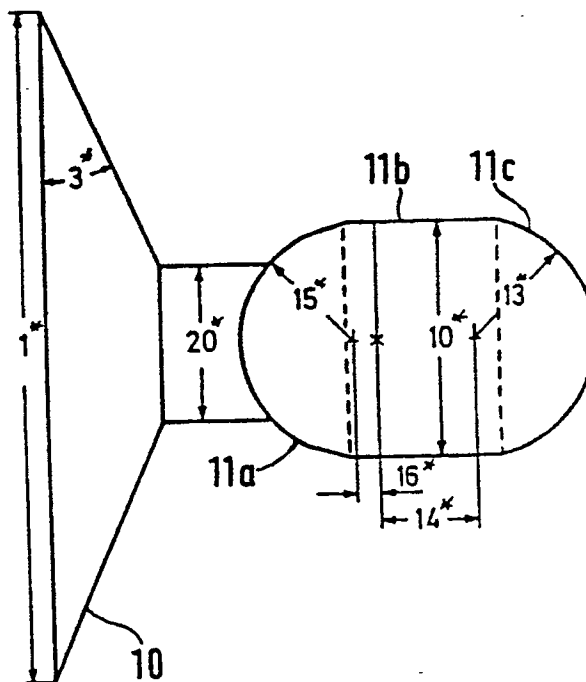


Fig. 3

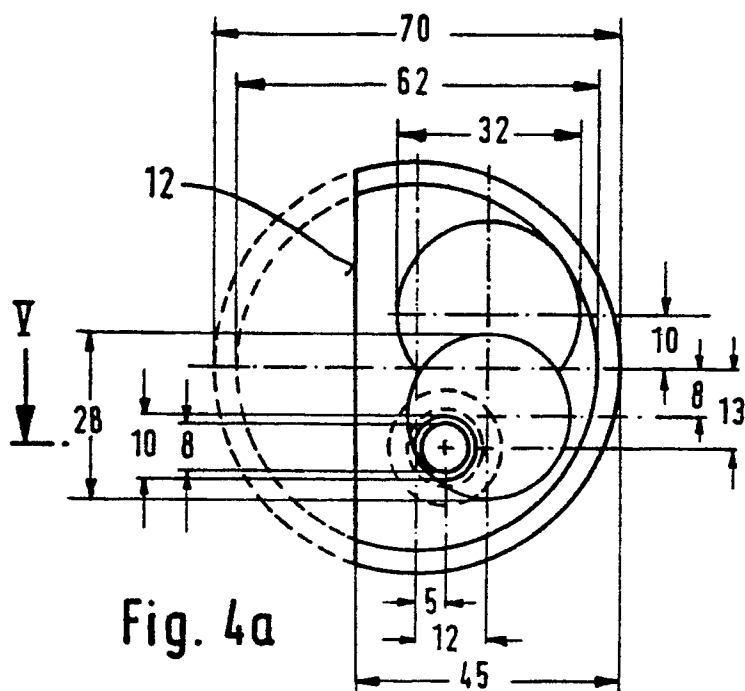


Fig. 4a

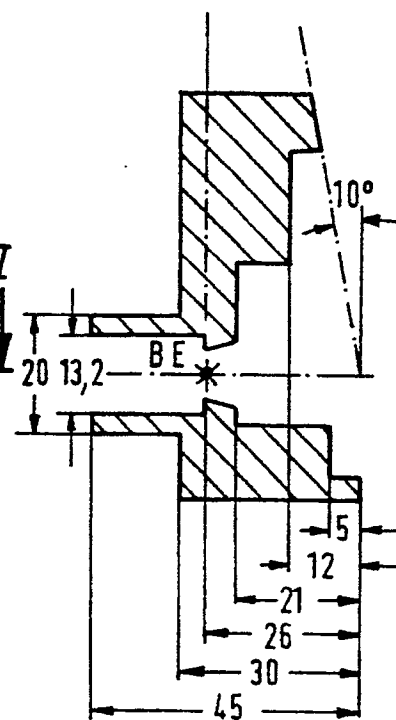


Fig. 4b

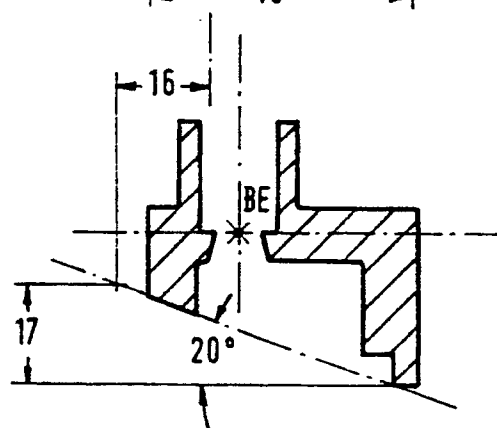
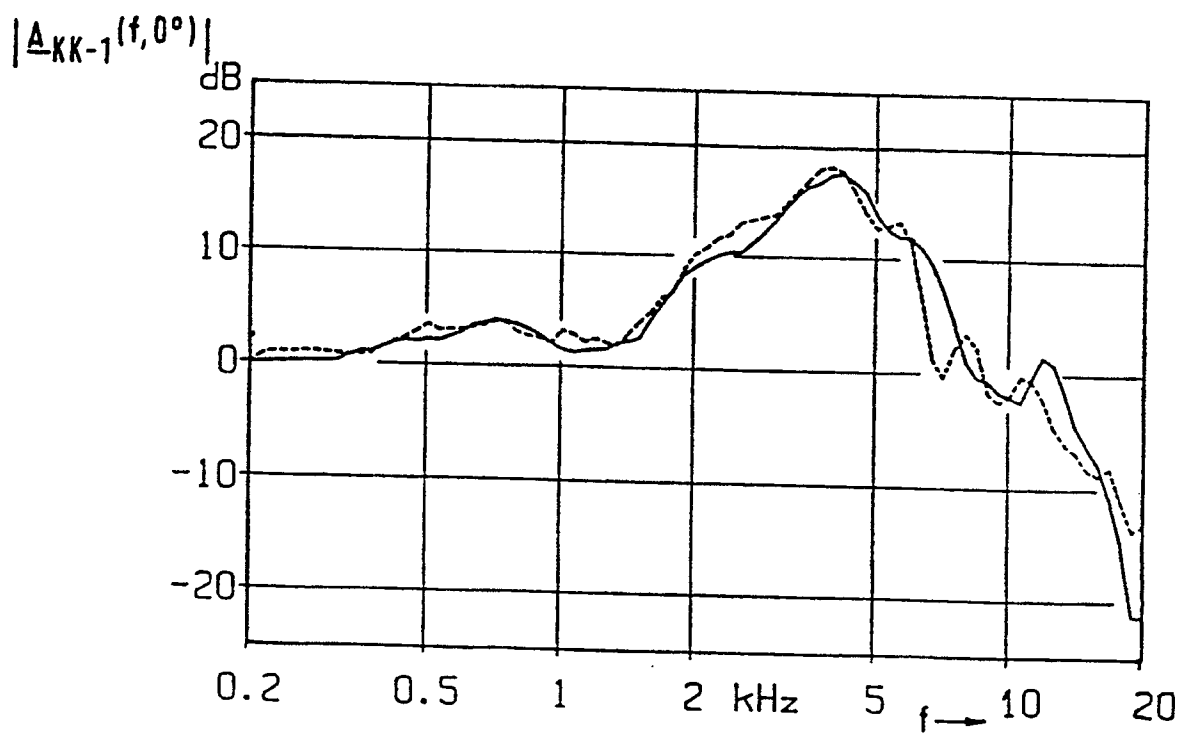
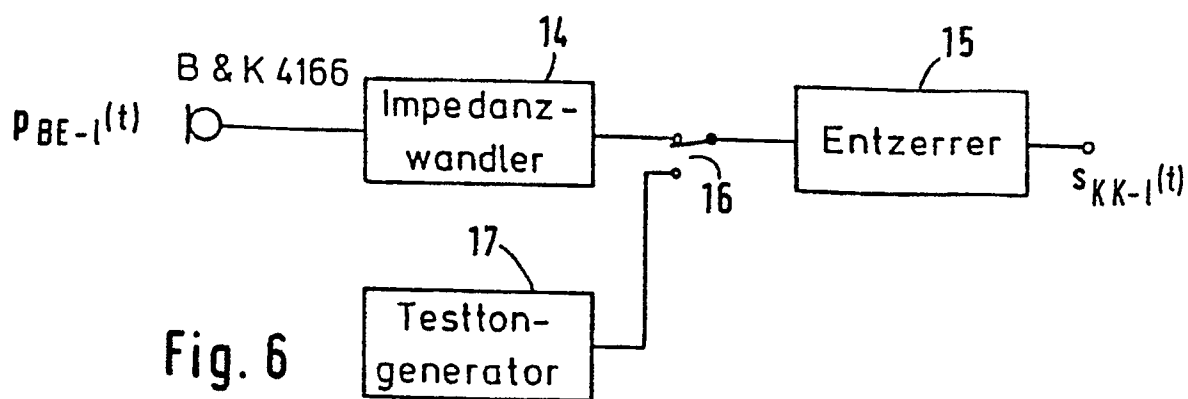


Fig. 5



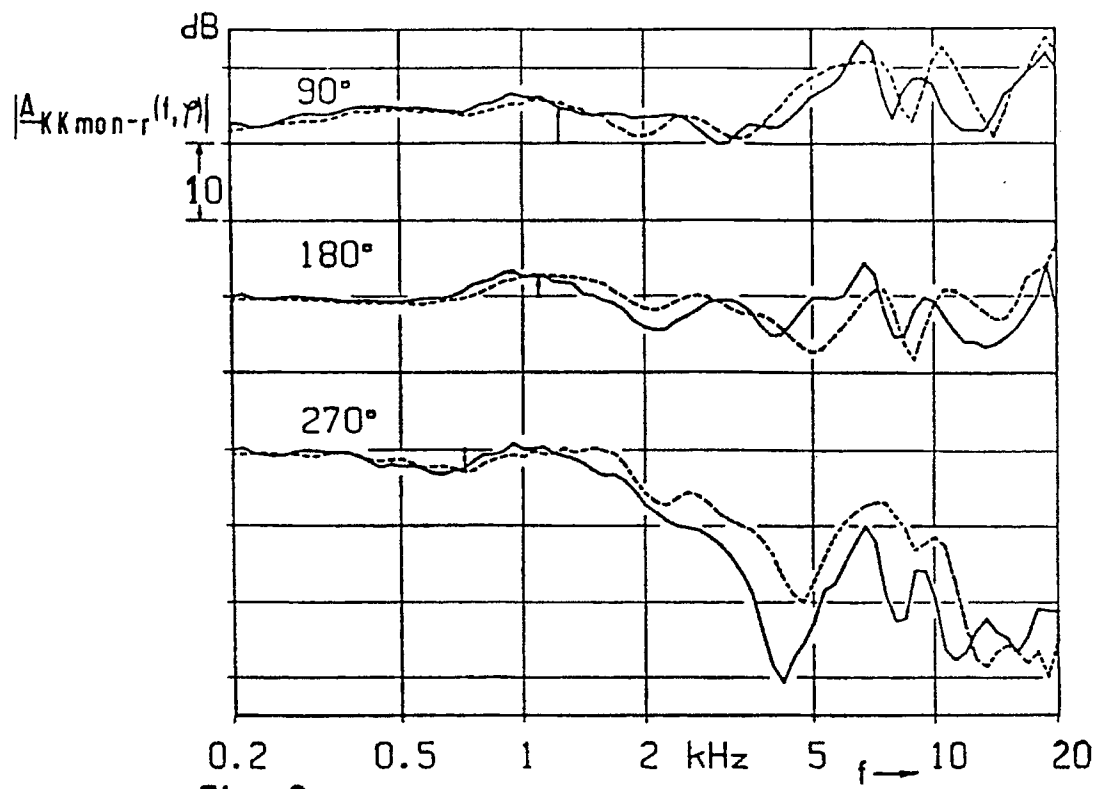


Fig. 8

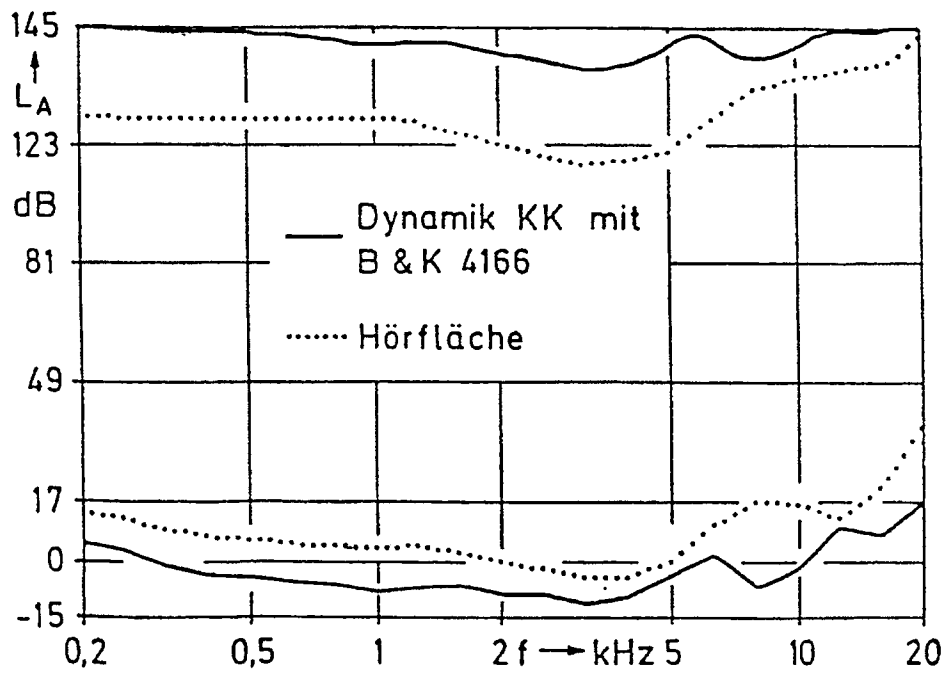


Fig. 9

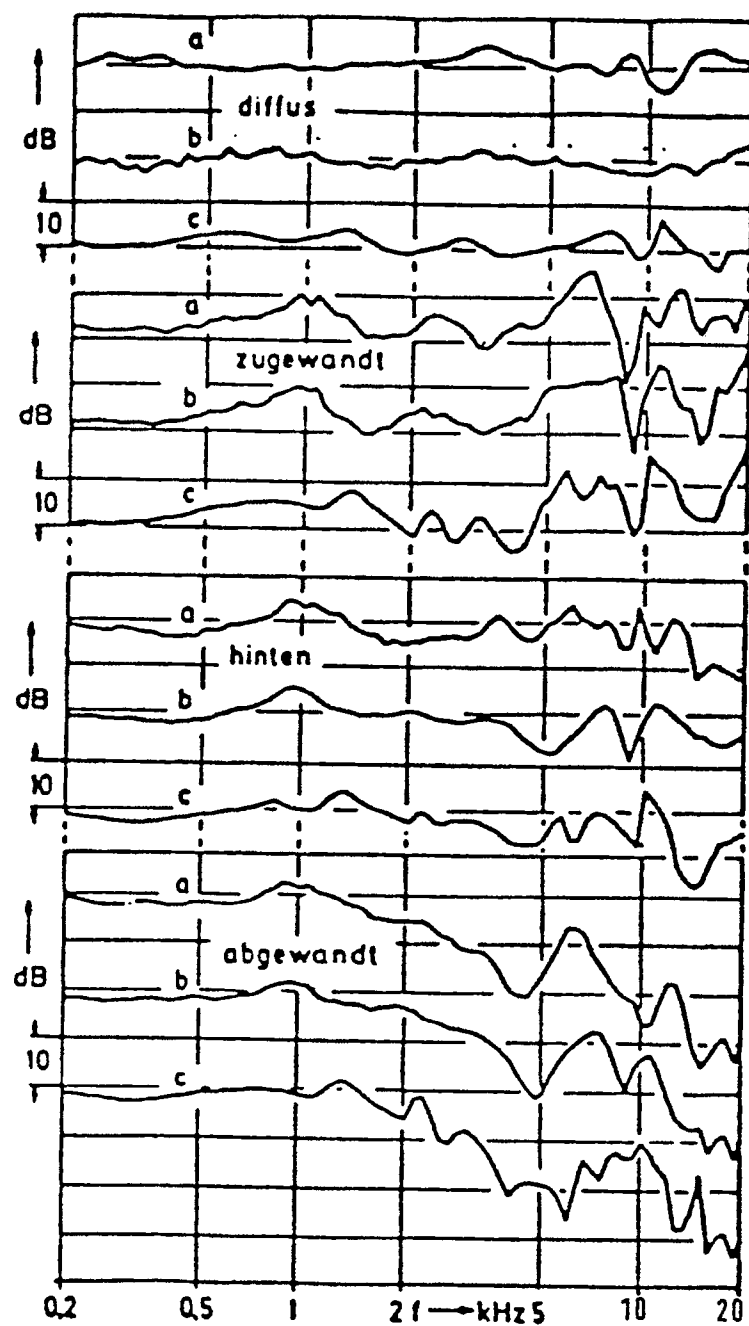


Fig. 10