



**BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

**Offenlegungsschrift
DE 100 00 048 A 1**

Int. Cl.⁷:
H 04 R 1/20
H 04 R 9/06
H 04 R 1/34
// H04R 5/00

(21) Aktenzeichen: 100 00 048.7
(22) Anmeldetag: 3. 1. 2000
(43) Offenlegungstag: 5. 7. 2001

DE 100 00 048 A 1

(71) Anmelder:
Manger, Daniela, Dipl.-Ing., 97638 Mellrichstadt, DE

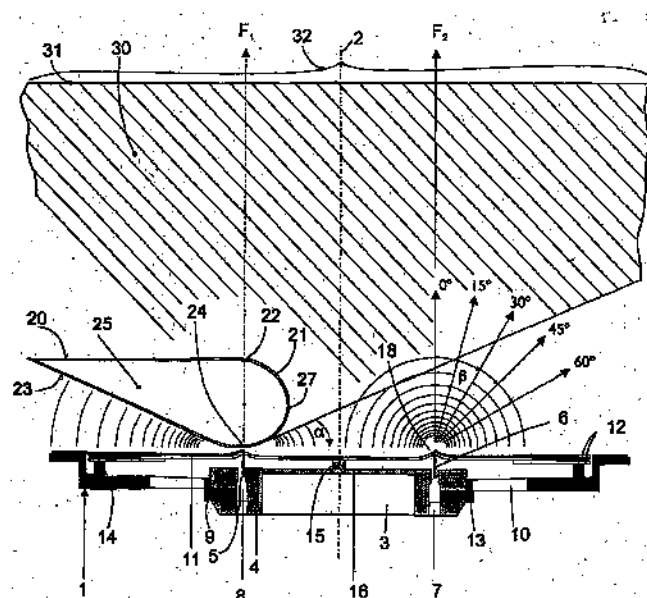
(74) Vertreter:
Frhr. von Schorlemer, R., Dipl.-Phys., Pat.-Anw.,
34117 Kassel

(72) Erfinder:
Antrag auf Nichtnennung

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Elektroakustischer Wandler und Umlenkelement dafür

(57) Es wird ein elektroakustischer Wandler mit einer Membran (11) und einem von einem elektrischen Signal steuerbaren Antriebssystem (6, 9) beschrieben. Die Anordnung ist derart, daß die Membran (11) zur Erzeugung von Luftdruckänderungen, die sich in einem vor ihr befindlichen Raum hinein ausbreiten, in wenigstens zwei beidseits der Mittelebene (28) liegenden Zonen (17a, 17b) im wesentlichen in gleicher Weise und stärker als in den übrigen Zonen ausgelenkt wird. Erfindungsgemäß ist ein Mittel, vorzugsweise in Form eines Umlenkelements (19) vorgesehen, durch das die Ausbreitung von dynamischen Druckänderungen in einen vorgewählten Raumsektor (30) bei einer ersten der beiden Zonen (17a) im wesentlichen verhindert wird (Fig. 5).



DE 100 00 048 A 1

Die Erfindung betrifft einen elektroakustischen Wandler der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Gattung und ein dafür geeignetes Umlenkelement.

In der Akustik setzt sich immer mehr die Erkenntnis durch, daß das menschliche Gehör keineswegs ausschließlich dem Zweck dient, unterschiedliche Töne, d. h. sinusförmige Schallwellen mit unterschiedlichen Frequenzen voneinander zu unterscheiden, wie sie insbesondere von Musikinstrumenten erzeugt werden. Eine bedeutungsvolle Aufgabe des Gehörs ist vielmehr auch die Erkennung von kurzzeitigen dynamischen Luftdruckänderungen (Transienten), d. h. von Geräuschen, und es ist heute allgemein anerkannt, daß das Gehör im Hinblick auf derartige Geräusche über einen Erkennungsmechanismus verfügt, der sehr viel schneller anspricht und zu Ergebnissen führt, als dies im Hinblick auf Sinusschwingungen der Fall ist. Anders ist nicht zu erklären, daß winzige Änderungen im Luftdruck bzw. durch Krafteinwirkung bewirkte Änderungen der statischen Luftdruckverteilung nicht nur erkannt, sondern aufgrund eines angeborenen Alarmmechanismus bei Menschen und Tieren auch nach ihrer Richtung genau beurteilt werden können. Das gilt z. B. für das Knacken eines Zweiges ebenso wie für den Abschuß einer Gewehrkegel. Abgesehen davon ist bekannt, daß das menschliche Gehör beim binauralen Hören die Fähigkeit besitzt, Laufzeitunterschiede bis herab zu ca. 10 µs zu erkennen.

Eine aus diesen Erkenntnissen abgeleitete Theorie ist in Fig. 1 anhand einer Kurve dargestellt (F. Pfander "Das Knalltrauma", Springer 1975, Berlin und "Das Schalltrauma", BMDV Bonn 1994), die den Verlauf des Luftdrucks in Abhängigkeit von der Zeit am Ort eines Zuhörers wiedergibt, wenn in einem gewissen Abstand von diesem eine einmalige, durch rechteckförmige Krafteinwirkung erzeugte, dynamische Luftdruckänderung erzeugt wird. Nach Fig. 1 hat eine solche Änderung, die nachfolgend kurz als "dynamische Druckänderung" bezeichnet wird, ihren Ursprung in einem sog. Onset-Zeitpunkt A, von dem aus der Luftdruck zunächst bis zu einem Punkt B des höchsten Drucks ansteigt, der innerhalb eines Zeitintervalls AC erreicht wird. Danach folgt ein aperiodischer Druckausgleich über Zeitpunkte D und E bis zu einem Zeitpunkt F.

Wesentlich an der Kurve nach Fig. 1, daß sie sich in verschiedene charakteristische Zeitzonen einteilen läßt. Zusätzlich ist in Fig. 1 die zugehörige phänomenologische Wirkung beim Menschen dargestellt. Eine erste Druckänderungszone AB entsteht dadurch, daß die im Onset-Zeitpunkt A einwirkende Kraft erst einmal die relevanten Luftmassen beschleunigen muß. Aus dieser zeitlichen Änderung der Geschwindigkeit leitet sich der räumliche Ursprung des Schalls bzw. die Richtung ab, aus der er kommt. Aus einem Geräusch kann dies bereits innerhalb dieser Zeitzone AC vom Gehör festgestellt werden, da der maximale Laufzeitunterschied des Schalls für die Auswertung über beide Ohren ca. 630 µs betragen kann, wenn ein durchschnittlicher Ohrabstand von 21 cm, eine Schallgeschwindigkeit von 343 m/s und ein 90° seitlicher Einfall des Schalls vorausgesetzt werden.

Nach der Richtungsmessung erfolgt in einer zweiten Zeitzone CF eine Erkennung der Ursache für den Schall. Versuche haben ergeben, daß während des auf den Punkt B folgenden, typischen Druckausgleichs ein weiteres Geräusch erzeugt wird, das einem ausklingenden Grundton ähnlich ist. Die Art dieses Grundtons ist abhängig u. a. von der zeitlich transportierten Energie der Sprunganregung. Überraschend ist dabei, daß das Zeitintervall AF die Länge einer sog. Verdeckungszeit definiert. Vor dem Erreichen des Zeit-

punkts F ist auch dann, wenn die Druckänderung periodisch anstatt durch eine Sprunganregung erfolgt, kein Tonhöhen-Empfinden möglich. Die Verdeckungszeit beträgt je nach Anregung z. B. 10 ms bis 22 ms, was bei einer sinus- oder cosinusförmigen Onset-Anregung der Dauer von z. B. 9 bzw. 22 Perioden einer 1 kHz-Sinusschwingung entspricht, und vor Ablauf dieses Zeitintervalls sind nach empirischen, genauen Erkenntnissen des Erfinders nur der Ort und die Art einer Schallquelle wahrnehmbar.

Aus den obigen Erläuterungen folgt, daß das Onset im Zeitpunkt A ausschließlich für den angeborenen, intuitiven Erkennungsmechanismus (Orterkennen der Schallquelle) zwingend benötigt wird, während die bis heute überwiegend betrachtete Frequenzanalyse von Tönen und Klängen erst nach Ablauf der vom Geräusch ausgelösten Verdeckungszeit ab dem Onset-Zeitpunkt A beginnen kann. Der Druckausgleich BF offeriert dem Hörsinn die Art zu erlernter geprägter kognitiver akustischer Bildervorstellungen aus dem umschriebenen Gegenstand.

Diese für die Übertragung von Schall wesentlichen Besonderheiten werden beim Bau von Schallwandlern bis heute noch weitgehend mißachtet. Für viele Hersteller gilt auch heute noch ein Lautsprecher als optimal, der einen guten gleichförmigen Amplituden-Frequenzgang im hörbaren Frequenzbereich hat und kontinuierliche, quasi statische Sinusschwingungen ausreichend gut reproduzieren kann. Dagegen bleibt weitgehend unberücksichtigt, ob mit einem Lautsprecher auch ein dem dynamischen Druck-Zeitverlauf nach Fig. 1 entsprechender Kurvenverlauf erreichbar ist, was zur Übermittlung der im Zeitintervall AF vorhandenen Informationen bzw. dafür zwingend erforderlich ist, daß der Kurvenverlauf dem Signal dynamisch genau folgt. Wenn die Membran eines herkömmlichen Wandlers einer Sprunganregung mit einer Gleichspannung unterworfen und dadurch für die Erzeugung einer dynamischen Druckänderung verwendet wird, werden vielmehr Kurvenverläufe erhalten, wie sie in Fig. 2 beispielhaft dargestellt sind. Dabei zeigt Fig. 2 ganz oben ein rechteckförmiges elektrisches Eingangssignal für einen Wandler und darunter die theoretisch ideale Druckänderung an einem Ort vor dem Schallerzeuger. In den unteren beiden Reihen sind die tatsächlich erhaltenen und mit einem Meßmikrofon gemessenen Kurvenverläufe dargestellt, wenn sechs willkürlich herausgegriffene, herkömmliche Studio-Abhör-Lautsprecher als Schallquellen bzw. Erzeuger der dynamischen Druckänderungen verwendet werden. Es zeigt sich, daß die Kurvenverläufe innerhalb der Zonen AC bzw. CF (Fig. 1) aufgrund von mehrfachen Eigenschwingungen, die durch die Unterteilung in Hochton-, Mittelton- und Tieftonbereiche und die üblichen Masse/Feder-Systeme herkömmlicher Wandler bedingt sind, in erheblicher Weise verfälscht werden. Diese Verfälschungen sind eine Ursache dafür, daß der idealen Kurve insbesondere innerhalb der Zone CF viele, allein durch den jeweiligen Lautsprecher erzeugte Kurvenabschnitte überlagert werden, die den durch die Sprunganregung eigentlich zu reproduzierenden Grundton verändern und mit Geräuschen belegen, die allein auf das Vorhandensein des Lautsprechers zurückzuführen sind. Dadurch wird die Aufmerksamkeit des Zuhörers auf die Lautsprecher, ihre Größe und ihren Aufstellungsort gelenkt, was eine einwandfreie Reproduktion von genauen Druckänderungen bzw. Schallaufnahmen unmöglich macht, insbesondere von solchen, die sich ganz oder teilweise in den für die Erkennung des Orts und der Art der Schallquelle wichtigen Zonen AC bzw. CF ereignen und auch dann reproduzierbar sein müssen, wenn keine periodischen Schwingungen vorhanden sind, die länger andauern, als der jeweiligen Verdeckungszeit entspricht.

Forschungen und Entwicklungen von J. W. Manger zielen

daher seit vielen Jahren darauf ab, einen elektroakustischen Wandler zu schaffen, der bei einer Sprunganregung im wesentlichen einen der Fig. 1 entsprechenden Kurvenverlauf zur Folge hat. Ein Ergebnis dieser Forschungen und Entwicklungen ist der unter der Bezeichnung MSW bekannte Biegewellenwandler (z. B. DE PS 18 15 694, DE 22 36 374 C3, DE 25 00 397 A1, DE 27 25 346 C3). Das Wirkungsprinzip dieses Biegewellenwandlers ist ein anderes als das von üblichen, Konusmembranen aufweisenden Wandlern. Hier wird die Schallabstrahlung dadurch erreicht, daß auf einer biegeweichen, zähe-elastischen Membran, die in Richtung ihrer Anregung nahezu keine Rückstell-elastizität besitzt, Biege- bzw. Wanderwellen erzeugt werden, die vom Zentrum zum Rand wandern und dort auslaufen, ohne daß Eigenschwingungen und/oder stehende Wellen erzeugt werden. Außerdem können extrem kurze Anstiegszeiten im Bereich bis zu 14 µs entsprechend der Zone AC (Fig. 1) erzielt werden. Mit derartigen Biegewellenwandlern war es erstmals möglich, die Kurvenverläufe nach Fig. 1 nahezu unverfälscht zu reproduzieren. Dies zeigt Fig. 3 in einer zu Fig. 2 analogen Darstellung. Die erhaltene Druckluftänderung am Meßort kommt dem im mittleren Bereich gezeigten Ideal vergleichsweise nahe. Insbesondere fehlen bei Anwendung eines Biegewellenwandlers störende, durch den Lautsprecher bedingte Druckänderungen nahezu vollständig, wodurch der Lautsprecher als solcher von den Hörern nicht mehr erkannt und das Originalsignal nahezu unverfälscht übertragen und empfunden werden kann.

Die beschriebenen Unterschiede zwischen den beiden Wandlertypen wirken sich besonders bei stereophonen Reproduktionen mit zwei Lautsprechern aus.

Bei Anwendung herkömmlicher Lautsprecher ist eine Stereo-Übertragung trotz der genannten grundsätzlichen Mängel einigermaßen störungsfrei, solange sich der Zuhörer genau in der Achse zwischen den beiden Lautsprechern, d. h. in der sog. Stereomitte befindet. Entfernt sich der Zuhörer auch nur geringfügig von dieser Achse, werden die Störungen sofort extrem erkennbar, da dann der näher liegende Lautsprecher mit seinen Fehlern unerschwerlich und intuitiv erkannt wird. Es ist daher bereits vorgeschlagen worden (U-PS 4 445 227), diesen Mangel durch Anwendung eines vor der Membran anzuordnenden Vorsatzelementes aus einem akustisch halbdurchlässigen Material zu vermeiden. Derartige Vorsatzelemente haben sich aber bisher nicht durchgesetzt, da sie nur dazu dienen, vorhandene Störungen zu reduzieren, nicht aber deren Ursache zu vermeiden.

Bei Anwendung von Biegewellenwandlern sind Entfernungen der Zuhörer aus der Stereomitte im Prinzip ohne weiteres möglich, da der dann näher gelegene Lautsprecher mangels wesentlicher Eigenschwingungen nicht als störend empfunden wird. Dadurch können gleichzeitig mehrere Personen in den Genuß desselben Darstellungsinhalts kommen. Dennoch hat sich überraschend gezeigt, daß sehr empfindsame Zuhörer auch bei Anwendung von Biegewellenwandlern immer dann, wenn sie sich außerhalb der Stereomitte befinden, nicht klar definierbare Änderungen der Schallwiedergabe erkennen können. Messungen haben ergeben, daß dies direkterweise darauf zurückzuführen ist, daß der Onset-Zeitpunkt A um so stärker verschoben und die Anstiegsflanke AB (Fig. 1) um so stärker verformt wird, je weiter sich der Zuhörer nach links (rechts) aus der Mittelachse des Biegewellenwandlers entfernt. Dies ist in Fig. 4 gezeigt, die analog zu Fig. 3, jedoch mit dem Unterschied erhalten wurde, daß ein Meßmikrofon, das bei seiner Anordnung in der Mittelachse zur Anstiegsflanke A₀, B₀ führt, an immer mehr nach links zur Mittelachse verschobenen Meßorten die

Anstiegsflanken A₁ B₁, A₂ B₂, A₃ B₃ und A₄, B₄ zur Folge hat. Die nach Fig. 1 eigentlich konstante Geschwindigkeit wird derart beeinflußt, daß ein S-förmiger Druckverlauf entsteht, durch den ein Verschmieren des akustischen Signals erfolgt.

Sind solche Verfälschungen bereits in den von einem einzigen Wandler erzeugten dynamischen Druckänderungen vorhanden, dann ist klar, daß sie sich beim Entfernen aus der Stereomitte in ähnlicher Weise, wenn auch in einem weit geringeren Maße auswirken, als dies für den Stereoempfang mit herkömmlichen, Masse/Feder-Systeme aufweisenden Lautsprechern gilt.

Der Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, derartige Störungen zu vermeiden und den eingangs bezeichneten elektroakustischen Wandler so auszubilden, daß auch von Positionen aus, die nicht in der Wandlerachse oder der Stereomitte liegen, ein nahezu unverfälschtes, räumliches Darstellungsbild erhalten wird, das dem einer einzelnen, punktförmigen Schallquelle, analog zu einem Kondensatormikrofon entspricht.

Zur Lösung dieses Problems dienen die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 und 15.

Durch die Erfindung wird der Vorteil erzielt, daß in einem vergleichsweise breiten Raumsektor rechts und links der Stereomitte auch von empfindsamen Zuhörern keine störenden Nebengeräusche mehr bemerkt werden, so daß es unmöglich ist, die Lautsprecher selbst zu hören bzw. zu orten. Der Zuhörer kann daher auch außerhalb der Stereomitte eine nahezu unverfälschte, d. h. im Signal enthaltene räumliche Beschreibung des aufgenommenen Schallereignisses genießen. Entsprechend können mehrere, gleichzeitig anwesende Zuhörer, die sich an unterschiedlichen Orten außerhalb der Stereomitte befinden, im wesentlichen dasselbe, nahezu unverfälschte Schallereignis wahrnehmen.

Weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Luftdrucks an einem Meßort (Sprungantwort), wenn im Abstand davon eine dynamische Druckänderung erzeugt wird, als stilisierte unsymmetrische Druck-Zeit-Änderung z. B. von Knall, Schuß, Plosiv- oder Verschlusslauten;

Fig. 2 verschiedene zeitliche Druckverläufe bei Anwendung von Lautsprechern mit herkömmlichen, elektrodynamischen Schallwandlern;

Fig. 3 einen Kurvenverlauf analog zur Fig. 2, jedoch bei Anwendung eines Lautsprechers mit einem Biegewellenwandler;

Fig. 4 verschiedene Kurvenverläufe analog zu Fig. 3 bei Anwendung eines Lautsprechers mit einem Biegewellenwandler nach dem Stand der Technik an unterschiedlichen, nicht in der Wandlerachse liegenden Meßorten;

Fig. 5 einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen, mit einem Umlenkelement versehenen Biegewellenwandler, wobei die pneumatische Wirkung des Umlenkelements in der Frequenzebene aperiodisch ist;

Fig. 6 eine Vorderansicht des Biegewellenwandlers nach Fig. 5 derart, daß sich der Querschnitt nach Fig. 5 aus der Schnittlinie V-V ergibt; und

Fig. 7 verschiedene, analog zu Fig. 4 erhaltene Kurvenverläufe bei Anwendung eines erfindungsgemäßen, mit einem Umlenkelement versehenen Biegewellenwandlers nach Fig. 5 und 6.

Fig. 5 und 6 zeigen einen elektroakustischen, nach dem elektrodynamischen Prinzip arbeitenden Biegewellenwandler in einer derzeit für am besten gehaltenen Ausführungs-

form. Der Wandler enthält einen in der Draufsicht kreis-scheibenförmigen Korb 1, der in Fig. 5 eine oben liegende Vorderseite, eine unten liegende Rückseite, eine eine Wandlerachse 2 definierende, zentrisch zum Korb 1 verlaufende Mittelachse und in einem mittleren Teil eine horizontale, ko-axiale Aussparung 3 aufweist. In der Aussparung 3 ist ein 5 koaxialer, zylindrischer Ring 4 angeordnet, dessen äußere Mantelfläche mit dem inneren, die Aussparung 3 begrenzenden Rand des Korbs 1 einen Magnetspalt 5 begrenzt, in dem eine den Ring 4 koaxial umgebende, vorzugsweise zweiteilige Schwingspule 6 in Richtung der Wandlerachse 2 verschiebbar gelagert ist. Der Ring 4 wird von einer an der Rückseite des Korbs 1 befestigten Halterung getragen, die z. B. mehrere, den Magnetspalt 5 überbrückende Stege 7 10 enthält, die zwischen sich eine Anzahl von Luftkanälen 8 freilassen. Auf der Vorderseite des Korbs 1 ist eine dem Magnetspalt 5 zugeordnete Weicheisenplatte 9 befestigt, die mit vom Ring 4 getragenen Permanentmagneten 13 zusammenwirkt, um die Schwingspule 6 im Sinne eines ihr zugeführten elektrischen Signals parallel zur Wandlerachse 2 hin- und herzubewegen und um zusammen mit der Schwingspule 6 ein übliches elektrodynamisches Antriebssystem zu bilden. Außerdem ist der Korb 1 zweckmäßig mit Löchern 10 versehen.

Auf der Vorderseite des Korbs 1 ist eine kreisförmige Membran 11 aus einem biegeweichen, viskoelastischen Material angeordnet, die am äußeren Rand ohne Vorspannung zwischen reflexionsdämpfenden Schichten 12 aus impedanzoptimiertem Schaum oder dergleichen liegt und beid-seitig mit diesen z. B. verklebt ist. Die Schichten 11 liegen 30 ihrerseits auf einem ringförmigen, zur Vorderseite ragenden Vorsprung 14 des Korbs 1 auf und sind mit diesem ebenfalls durch Verkleben oder dergleichen verbunden. Außerdem ist die Membran 11 in ihrem Zentrum mittels eines z. B. aus impedanzoptimiertem Schaum oder dergleichen bestehen- 35 den Mittelpuffers 15 an einer kreisrunden Scheibe 16 befestigt, die mit ihrem äußeren Rand am Innenmantel der Magnetanordnung befestigt ist. In einem zwischen dem Mittelpuffer 15 und dem äußeren Rand gelegenen Abschnitt ist die Membran 11 außerdem längs einer in Fig. 6 gestrichelt dar- 40 gestellten, kreisförmigen Kraftangriffslinie 17 an die Schwingspule 6 bzw. an das durch diese und die Magnetanordnung gebildete, elektrodynamische Antriebssystem gekoppelt.

Die Teile 11 bis 16 sind so aufeinander abgestimmt, daß sich ein an sich bekannter Biegewellenwandler ergibt. Biegewellenwandler und ihre Herstellung und Wirkungsweise sind aus den oben genannten Schriften allgemein bekannt und werden z. B. von der Fa. Manger Products in D-97638 Mellrichstadt hergestellt und unter der Bezeichnung "MSW" vertrieben. Sie weisen die Besonderheit auf, daß bei 50 hochfrequenter Erregung durch die Schwingspule 6 nur ein kleiner, unmittelbar neben der Kraftangriffslinie 17 liegender Bereich 18 (Fig. 5) der Membran 11 ausgelenkt wird, während zu tieferen Frequenzen hin immer größere Bereiche der Membran 11 ausgelenkt werden, bis schließlich bei den tiefsten übertragbaren Frequenzen die gesamte Membran 11 ohne Masse/Feder-Wirkung als reiner mechanischer Widerstand in viskoser Reibung wellenförmig hin- und her-schwingt. Dabei bleiben die auf dem Vorsprung 14 aufliegen- 60 den Abschnitte der Membran 11 permanent im wesentlichen in Ruhe. Daher wird die Membran 11 unabhängig von der Beschleunigung, mit der sie ausgelenkt wird, im Bereich der Kraftangriffslinie 17 bzw. dort, wo sie an die Schwing-spule 6 angekoppelt ist, am stärksten und in den sich daran radial nach innen und außen anschließenden Zonen zuneh-mend weniger ausgelenkt.

Erfindungsgemäß ist auf der Vorderseite der Membran 11

ein Umlenkelement 19 angeordnet, das aus einem für Schallwellen im wesentlichen undurchlässigen Material wie z. B. schlagzähem PVC-1 mm besteht. Das Umlenkelement 19 hat vorzugsweise einen ebenen, im wesentlichen recht-eckförmigen Vorderabschnitt 20, der insbesondere einen an- 5 nehmbar optischen Eindruck vermitteln soll, und deckt mit diesem Vorderabschnitt 20 einen vorgewählten Ab-schnitt der Membran 11 ab. Dabei sind bei der üblichen, aus Fig. 6 ersichtlichen Gebrauchslage des Wandlers die langen 10 Seiten des Vorderabschnitts 20 vertikal angeordnet und im wesentlichen über den ganzen Durchmesser des Korbs 1 bzw. der Membran 11 erstreckt (= Höhe h), wohingegen die kurzen Seiten des Vorderabschnitts 20 horizontal angeord-net sind und eine etwa dem 0,3- bis 0,4-fachen Durchmesser 15 der strahlenden Membran 11 entsprechende Länge aufwei-sen (= Breite b), bevorzugt $0,39 \times$ Membrandurchmesser ($b = 95$ mm).

Das Umlenkelement 19 besitzt im Ausführungsbeispiel außerdem, im Querschnitt (Fig. 5) betrachtet, eine im we-sentlichen tropfenförmige bzw. kegelförmige äußere Kon-tur. Diese Kontur entsteht einerseits durch einen halbzylin-drischen Abschnitt 21, der mit einer Längskante 22 an eine 20 innen liegende, vertikale Längskante des Vorderabschnitts 20 angrenzt, andererseits durch einen im wesentlichen ebenen Verbindungsabschnitt 23, der die andere vertikale Längskante 24 des Abschnitts 21 mit einer äußeren Längs-kante des Vorderabschnitts 20 verbindet und mit dem Vor- 25 derabschnitt 20 einen nach außen weisenden Flügel 25 bil-det. Alle drei Abschnitte 20, 21 und 23 haben vorzugsweise dieselbe Höhe h. Sie sind außerdem zweckmäßig zu einem zusammenhängenden Bauteil miteinander verbunden und einstückig hergestellt, indem z. B. eine entsprechend bemes-sene, planparallele Platte entsprechend gebogen wird, bis 30 die äußeren Längskanten der Abschnitte 20, 23 längs eines geschlossenen Schlitzes aneinander grenzen.

Der zylindrische Abschnitt 21 ist, wie Fig. 6 zeigt, so an-geordnet, daß seine Zylinderachse und die beiden Längskan-ten 22, 24 in einer Ebene liegen, die parallel zur Wandler-achse 2 und senkrecht zur Membran 11 verläuft, und daß die 35 Projektion der Zylinderachse auf die Membran 11 eine Tan-gente an die Kraftangriffslinie 17 bildet, wie in Fig. 6 durch eine gestrichelte Linie 26 angedeutet ist. Außerdem hat das Umlenkelement 19 dort, wo sich die Längskante 24 befin-det, den kleinsten Abstand von der Membran 11 und dort, 40 wo sich eine Scheitellinie 27 des Abschnitts 21 befindet, den kleinsten Abschnitt von einer die Wandlerachse 2 enthalten-den, senkrecht zur Membran 11 verlaufenden, vertikalen Mittelebene 28 (Fig. 6) des Wandlers. Bei diesen Angaben ist stets vorausgesetzt, daß der Wandler die Lage nach Fig. 6 45 einnimmt, die sich beim normalen Gebrauch eines mit dem Wandler ausgerüsteten Lautsprechers ergibt, d. h. die Wan-derachse 2 horizontal und die Mittelebene 28 vertikal ange-ordnet ist.

Im Ausführungsbeispiel wird ferner davon ausgegangen, daß die Membran 11 einen Außendurchmesser von ca. 190 mm, der Korb 1 einen Außendurchmesser von ca. 210 mm und die Schwingspule 6 bzw. die Kraftangriffslinie 17 einen Durchmesser von ca. 70 mm aufweist. Unter dieser 50 Voraussetzung haben sich ein Abstand der Längskante 24 von der Membran 11 von ca. 4,9 mm, ein Radius des halbzy-lindrischen Abschnitts 21 von ca. 31 mm und eine Breite b des Umlenkelements 19 von ca. 92 mm als zweckmäßig er-wiesen. Dabei entspricht das Maß von 4,9 mm der halben Schallwellenlänge bei einer Frequenz von 35 kHz und das 60 Maß von 31 mm einem Drittel der Schallwellenlänge bei ei-ner Frequenz von 3,7 kHz. Daraus folgt (Fig. 6), daß ein großer Teil des auf einer Seite der Mittelebene 28 liegenden Abschnitts 17a der Kraftangriffslinie 17 vom Umlenkele-

ment 19 abgedeckt wird. Dieser Abschnitt 17a enthält insbesondere einen Kraftangriffspunkt F_1 , der in einem Schnittpunkt der Kraftangriffslinie 17 mit einer in der Membran 11 liegenden, die Wandlerachse 2 senkrecht schneidenden, horizontalen Geraden liegt, auf der auch ein diametral gegenüberliegender Kraftangriffspunkt F_2 liegt, der um den Durchmesser der Schwingspule 6 vom Kraftangriffspunkt F_1 beabstandet ist.

Die Befestigung des Umlenkelements 19 am Wandler erfolgt beispielsweise dadurch, daß dieses am oberen bzw. unteren Ende der Längskante 24 auf einen vorstehenden Randabschnitt des Korbs 1 aufgelegt und mit diesem durch Kleben vibrationsfrei verbunden wird.

Im Hinblick auf das der Membran 11 vorgesetzte Umlenkelement 19 wird erfindungsgemäß davon ausgegangen, daß eine Ursache für die aus Fig. 4 ersichtlichen Abweichungen vom Idealzustand der vergleichsweise große Durchmesser der Schwingspule 6 ist. Dieser Durchmesser beträgt bei einem BiegeWellenwandler zur guten Reproduktion von tiefen Tönen z. B. ca. 50 bis 70 mm. Da die Membran 11 beim Betrieb nicht nur an ihrem äußeren Rand, sondern auch im Zentrum bis auf die durch den Mittelpuffer 15 möglichen chen Bewegungen praktisch im Ruhezustand verbleibt, können die beiden Kraftangriffspunkte F_1 , F_2 für einen Zuhörer, dessen Ohren auf einer horizontalen, zur Geraden F_1 F_2 parallelen Geraden angeordnet sind, im Sinne der Huyghens/Fresnel-Prinzipien als Orte angesehen werden, von denen kohärente Kugelwellen ausgehen, die interferieren können, wenn sich der Zuhörer nicht in der Wandlerachse 2 aufhält. Befinden sich die Ohren eines Zuhörers z. B. auf der Geraden F_1 F_2 , dann können der-artige Interferenzen ab Frequenzen von ca. 3,33 kHz für einen Schwingspuldurchmesser von 50 mm und ab ca. 2,38 kHz für einen Schwingspuldurchmesser von ca. 70 mm erwartet werden. In einem Raumsektor, der einerseits von der Geraden F_1 F_2 und andererseits von der Wandlerachse 2 begrenzt ist, können oberhalb der genannten Frequenzen, besonders wenn sie hoch korreliert sind, ebenfalls Interferenzen auftreten. In ähnlicher Weise können andere, auf der Kraftangriffslinie 17 diametral gegenüberliegende Kraftangriffspunkte oder Punkte, die in gleicher Höhe und spiegelsymmetrisch beidseits der Ebene 28 liegen, Interferenzen erzeugen. Dabei ist die Frequenz, ab der schädliche Interferenzen entstehen können, um so kleiner, je weiter die Kraftangriffspunkte beabstandet sind, d. h. für die Punkte F_1 , F_2 am kleinsten, während sich die mögliche Interferenzbildung für oberhalb bzw. unterhalb der Geraden F_1 F_2 liegende Punktepaare immer mehr zu höheren Frequenzen hin verschiebt.

Durch das erfindungsgemäße Umlenkelement 19 werden derartige Interferenzen insbesondere in mittleren und hohen Frequenzbereichen von z. B. ab 2–4 kHz vermieden. Die halben Wellenlängen des Schalls sind hier kleiner als die übrigen Dimensionen, so daß von einer im wesentlichen geradlinigen Ausbreitung der Druckwellen ausgegangen werden kann. Die von F_1 kommenden Schallwellen können sich daher zwar in einen Raumsektor mit dem Winkel α (Fig. 5) ausbreiten, nicht aber in einen in Fig. 5 gestrichelt dargestellten Raumsektor 30, der ab einem gewissen Abstand von der Vorderseite der Membran 11 nicht nur auf derjenigen Seite der Mittelebene 28 liegt, der vom Umlenkelement 19 abgedeckt wird, sondern sich auch teilweise in einen Bereich hinein erstreckt, der auf der vom Kraftangriffspunkt F_2 eingenommenen Seite der Mittelebene 28 liegt. Dagegen können sich Schallwellen, die von F_2 ausgehen, nahezu ungestört in den Raum vor der Membran 11 ausbreiten. Das hat zur Folge, daß ein Zuhörer, der sich in einer zur Membran 11 parallelen Ebene und in einem ausreichenden Abstand zu dem Wandler befindet und seine Ohren etwa in Höhe der

Geraden F_1 F_2 entsprechend einer Linie 31 in Fig. 5 anordnet, in einem Abschnitt 32 dieser Linie 31 nur Schallwellen empfängt, die von F_2 kommen. Dadurch sind im Abschnitt 32 auch bei hohen Frequenzen keine Interferenzen zwischen den von F_1 und F_2 kommenden Schallwellen möglich. Für tiefe Frequenzen sind die Wellenlängen zwar größer als die übrigen Dimensionen, insbesondere als die Dimensionen des Umlenkelements 19, so daß die Schallwellen aufgrund der Beugung um das Umlenkelement 19 herumgelenkt werden und auch in den Raumsektor 30 eintreten können. In diesem Fall sind Interferenzen aber deshalb nicht möglich, weil die Wellenlängen zu groß sind, um die erforderlichen Gangunterschiede von $\lambda/2$ erreichen zu können. Die von F_1 kommenden Schallwellen unterstützen daher die Wirkung der von F_2 kommenden Schallwellen bei tieferen Frequenzen.

Entsprechendes gilt für andere Punkte auf der Kraftangriffslinie 17, die symmetrisch zu beiden Seiten der Mittelebene 28 angeordnet sind, so daß die Membran 11 in dem gesamten für Zuhörer interessanten Raumbereich als Einpunkt- bzw. Einzonenstrahler anstatt bisher als Zweipunkt- bzw. Zweizonenstrahler wirkt.

Die mit dem Umlenkelement 19 erhaltenen Ergebnisse sind in Fig. 7 dargestellt, die analog zu Fig. 4 z. B. mit einem längs der Linie 31 verschobenen Mikrophon bei den Winkeln $\beta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ und 60° in Fig. 5 aufgenommen wurden. Fig. 7 zeigt, daß alle fünf Kurven praktisch von demselben Onset-Zeitpunkt A_0 ausgehen. Außerdem sind alle Anstiegsflanken A_0, B_0 bis A_0, B_4 wie in Fig. 3 gerade Linien, denen die für Fig. 4 charakteristischen, etwa in der Mitte liegenden s-förmigen Sättel fehlen. Die Punkte B_0 bis B_4 liegen etwa an mit Fig. 3 vergleichbaren Orten, und auch die aperiodischen Abschnitte von den Punkten B_0, B_1, B_2, B_3 und B_4 bis zum Erreichen des Punktes D (Fig. 1) weichen nur wenig von Fig. 3 und damit vom Idealzustand ab. Daraus wird gefolgert, daß bei Anwendung des erfindungsgemäßen Umlenkelements 19 insbesondere diejenigen für die Übertragung von Schall wichtigen Informationen erhalten bleiben, die innerhalb der ersten "dynamischen Druckfront" A, B, D (Fig. 1) liegen und für die Erkennung von Ort und Art einer Schallquelle wesentlich sind, so daß Eigenfärbungen durch den jeweiligen Wandler bzw. dessen Membran 11 weit weniger als bisher in Erscheinung treten.

Besonders wichtig ist die Wirkung des erfindungsgemäßen Umlenkelements 19 für Stereo-Wiedergaben mit zwei Lautsprechern 33a und 33b, wie in Fig. 8 angedeutet ist. Dabei ist vorausgesetzt, daß im aufgenommenen Signal die natürlichen vorhandenen Laufzeit-Informationen enthalten sein müssen, wie dies für die Laufzeit-Stereophonie im Gegensatz zur Intensitäts-Stereophonie zutrifft. Jeder Lautsprecher 33a, 33b ist mit einem Wandler und einem Umlenkelement 19a, 19b nach Fig. 5 und 6 versehen, wobei deren Flügel 25a, 25b jeweils von einer die Stereomitte definierenden Achse 34 abgewandt sind. Stehen beide Lautsprecher 33a, 33b auf einer gemeinsamen, zur Achse 34 senkrechten Verbindungslinie 35 in einer Anordnung entsprechend Fig. 5 und 8, dann definieren jeweils gestrichelte Bereiche 36a, 36b diejenigen Raumsektoren, in die zwar von den Punkten F_2 ausgehende dynamische Druckänderungen, nicht aber von den Punkten F_1 ausgehenden dynamischen Druckänderungen eindringen können. Ein Zuhörer, der sich auf einer zur Linie 35 parallelen Linie 37 befindet, empfängt daher unabhängig davon, wo er sich in einem vergleichsweise breiten, panoramaartigen Winkelbereich 38 rechts und links von der Stereomitte 34 aufhält, nur die von den Punkten F_2 beider Lautsprecher ausgehenden Druckänderungen. Das ist gleichbedeutend damit, daß der Zuhörer, solange er sich in einem in Fig. 8 doppelt schraffierten Raum-

sektor 39 aufhält, stets nur die dynamischen Druckänderungen wahrnimmt, die von einem der beiden Kraftangriffspunkte F_2 der Schwingspule 6 bzw. von einem auf derselben Seite der Mittelebene 28 liegenden Teil der Kraftangriffslinie 17 erzeugt werden. Mit anderen Worten nimmt der Zuhörer von beiden Lautsprechern 33a, 33b nur die von je einem der Kraftangriffspunkte ausgehenden Wirkungen wahr und daher laufzeitrichtige Informationen genauso auf, wie sie von den Mikrofonen für die rechte bzw. linke Stereoseite eingefangen und aufgezeichnet wurden. Ohne die Umlenkelemente 19a, 19b würde der Zuhörer außerhalb der Stereomitte jeweils Informationen von je zwei Kraftangriffspunkten erhalten, die zeitlich nacheinander bei ihm eintreffen und das Schallereignis zu einer zweideutigen Darstellung verschmieren. Als Folge der Erfindung sind die Lautsprecher 33a, 33b dagegen im gesamten Winkelbereich 38 beidseits der Stereomitte 34 von jeder eigenen Färbung des zu übertragenden Signals befreit, so daß es unmöglich ist, sie zu hören bzw. zu orten. Der Zuhörer kann daher auch außerhalb der Stereomitte 34 die nahezu unverfälschte, d. h. im Signal enthaltene räumliche Beschreibung des aufgenommenen Schallereignisses genießen.

Durch die spezielle äußere Kontur der Umlenkelemente 19 wird ferner gewährleistet, daß sich im betrachteten Raumsektor 39 und im Frequenzbereich von ca. 3 kHz bis ca. 35 kHz keine Interferenzen bilden, wie oben anhand der Fig. 5 und 6 ausführlich erläutert wurde. Das bedeutet, daß auch keine Beeinträchtigungen des Hörerlebnisses durch schädliche Interferenzen zu befürchten sind, wenn die Lautsprecher 33a, 33b zusätzlich zur stereophonen Übertragung von periodischen Vorgängen anstatt lediglich zur Übertragung von dynamischen Druckänderungen verwendet werden.

Die Erfindung ist nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt, das auf vielfache Weise abgewandelt werden kann. Insbesondere ist klar, daß die angegebenen Abmessungen des Umlenkelements 19 nur als ein derzeit als am besten angesehenes, an die Biegewellenwandler MSW angepasstes Beispiel zu verstehen sind. Für andere Wandler mit anderen Membrangrößen können sich andere Maße als zweckmäßig erweisen. Weiter ist aus Fig. 5 und 8 ersichtlich, daß durch die Formgebung bzw. die äußere Kontur des Umlenkelements 19 festgelegt werden kann, in welchen Raumsektor sich die Schallwellen in den jeweils betrachteten Frequenzbereichen ausbreiten sollen. Außerdem kann mit Hilfe des halbzyklindrischen Abschnitts 21 des Umlenkelements 19 ein "weicher" Übergang von totaler Reflexion und optimaler Beugung bei hohen bzw. tiefen Frequenzen erzielt werden. Die Lage des spitzen Endes des Flügels 25 (Fig. 5) sollte dabei derart gewählt sein, daß die Schallwellen nicht über dieses Ende in den Raum vor den Wandlern eintreten können. Außerdem können die Längskanten 22, 24 und der Scheitelpunkt 27 an andere als die dargestellten Orte verlegt werden, wobei zu beachten ist, daß die Längskante 24 so weit vor der Membran 11 liegen muß, daß diese ihre maximale Auslenkung bei tiefen Frequenzen erreichen kann, ohne gegen das Umlenkelement zu stoßen. Außerdem hängen die angegebenen Maße und die Außenkontur der Umlenkelemente 19 natürlich davon ab, ein wie großer Abstand der Lautsprecher von der Stereomitte 34 (Fig. 8) und der Zuhörer von der Linie 35 für zweckmäßig gehalten wird und ob die Membranen 11 parallel oder leicht schräg zu den Linien 35, 37 angeordnet werden. Außerdem sind Anordnungen möglich, bei denen die Flügel 25a, 25b (Fig. 8) zur Stereomitte 34 hingewandt sind, da sich dann analoge Winkelbereiche 38 ergeben, in denen bei den kritischen Frequenzen jeweils nur die von einem der beiden Kraftangriffspunkte F_1 bzw. F_2 abgegebenen Schallwellen

beachtlich sind.

Weiter ist die Erfindung nicht auf Biegewellenwandler beschränkt. Denkbar wäre vielmehr auch, die Membranen mit anderen Antriebssystemen, z. B. solchen anzutreiben, wie sie bei elektrostatischen Wandlern angewendet werden, und dabei dafür zu sorgen, daß sie ein ähnliches Abstrahlverhalten wie die oben erläuterten Membranen 11 von Biegewellenwandlern haben. Ein Unterschied besteht dann nur insoweit, daß die Kraftangriffspunkte F_1 , F_2 frei liegende, d. h. nicht an eine Schwingspule oder dergleichen gekoppelte Punkte sind. Die erfindungsgemäßen Umlenkelemente können daher analog angewendet werden. Abgesehen davon kann die Erfindung auch bei Schallwandlern in Form von Schallempfängern wie z. B. Mikrofonen angewendet werden, in welchem Fall die Umlenkelemente entsprechend klein ausfallen.

Weiter ist die Erfindung nicht auf die beschriebene Geometrie und Anordnung der Membran 11 beschränkt. Anstelle kreisrunder Membranen können z. B. rechteckige oder quadratische Membranen vorgesehen werden. Außerdem ist es, insbesondere bei Anwendung elektrostatischer Wandler, auch denkbar, die Abstrahlung von Schallwellen in bestimmten Frequenzbereichen mit anderen, z. B. rein elektronischen Mitteln zu verhindern und dadurch die Ausbreitung von Luftdruckänderungen in vorgewählte Raumsektoren zu vermeiden. Schließlich versteht sich, daß die verschiedenen Merkmale auch in anderen als den dargestellten und beschriebenen Kombinationen angewendet werden können.

Patentansprüche

1. Elektroakustischer Wandler mit einer Membran (11), die eine imaginäre, senkrecht zu ihr angeordnete Mittelebene (28) und eine Vielzahl von unterschiedlich auslenkbaren Zonen aufweist, und mit einem von einem elektrischen Signal steuerbaren Antriebssystem (6,9) derart, daß die Membran (11) zur Erzeugung von Luftdruckänderungen, die sich in einen vor ihr befindlichen Raum hinein ausbreiten, in wenigstens zwei beidseits der Mittelebene (28) liegenden Zonen (17a, 17b) im wesentlichen in gleicher Weise und stärker als in den übrigen Zonen auslenkbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Mittel (19) vorgesehen ist, durch das die Ausbreitung von dynamischen Druckänderungen in einen vorgewählten Raumsektor (30) bei einer ersten der beiden Zonen (17a) im wesentlichen verhindert ist.
2. Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel aus einem Umlenkelement (19) besteht, das aus einem für Schallwellen im wesentlichen undurchlässigen Material hergestellt ist und der ersten der beiden Zonen (17a) mit einem vorgewählten kleinen Abstand gegenübersteht.
3. Wandler nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Umlenkelement (19) eine tropfenförmige bzw. kegelförmige Kontur besitzt.
4. Wandler nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Umlenkelement (19) auf der einer zweiten der beiden Zonen (17b) zugewandten Seite im wesentlichen halbzyklindrisch ausgebildet ist.
5. Wandler nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß sich das Umlenkelement (19) über die ganze Höhe der Membran (11) erstreckt.
6. Wandler nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß sich an einen halbzyklindrischen Abschnitt (21) des Umlenkelements (19) ein von der zweiten der beiden Zonen (17b) weggerichteter Flügel (25) anschließt, dessen Abstand von der Membran (11) an einem an dem halbzyklindrischen Abschnitt