(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 2 572 515 B1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
09.04.2014 Patentblatt 2014/15

(21) Anmeldenummer: **11754275.3**

(22) Anmeldetag: **09.05.2011**

(51) Int Cl.:
H04R 1/38 *(2006.01)* ***H04R 5/027*** *(2006.01)*
H04R 19/01 *(2006.01)* ***H04R 1/40*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2011/001046

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2011/144200 (24.11.2011 Gazette 2011/47)

(54) **3D-Stereospaltmikrofon**

3D stereo split-microphone

Microphone 3D-stereo à fente

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **21.05.2010 DE 102010021157**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.03.2013 Patentblatt 2013/13

(73) Patentinhaber: **Manger, Daniela**
97638 Mellrichstadt (DE)

(72) Erfinder: **MANGER, Josef W.**
97654 Bastheim (DE)

(74) Vertreter: **Pöhner, Wilfried Anton**
Patentanwalt Dr. W. Pöhner
Kaiserstrasse 33
97070 Würzburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-C- 808 593 **DE-U1- 9 101 371**
FR-A1- 2 688 644

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 572 515 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein 3D-Stereopaltmikrofon gemäß Anspruch 1.

[0002] Zur Aufzeichnung und Wiedergabe von Geräusche und Tönen sind seit über einem Jahrhundert elektromechanische Wandler bekannt, die als Mikrofon Bewegungen von Luftmolekülen in elektrische Signale umsetzen, die aufbereitet und gespeichert werden. Zu einem wählbaren Zeitpunkt können die gespeicherten Signale abgerufen und über andere - als Lautsprecher bezeichnete - elektromechanische Wandler wieder zurück in Schall - also in Bewegungen von Luftmolekülen - umgewandelt werden.

[0003] Seit März 2006 existiert von der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR AKUSTIK e.V., Voltastr.5, Geb. 10-6, 13355 Berlin die DEGA-Empfehlung 101: Akustische Wellen und Felder. Darin ist auf S. A10 über die Hörakustik zu lesen: "Wenn jedoch **komplexe** Wahrnehmungen auszuwerten sind, z.B. bei der Qualitätsbeurteilung von Lautsprecherboxen, kann auf **subjektive** Tests nach wie vor nicht verzichtet werden." Auf die menschliche Wahrnehmung bezogen, sind die zahlreichen, derzeit üblichen Fachbegriffe zur Darstellung in den physikalischen, elektrischen und mechanischen Fachbereichsebenen eher verwirrend. Deshalb wird in diesem Patentantrag als Oberbegriff für die Hörakustik-Darstellung das Wort "Information" bevorzugt, das gemäß seinem lateinischen Ursprung in Transkription die "In-Form-Machung" von Schallereignissen ist. Die darin enthaltene, vierfache Komplexität der menschlichen Wahrnehmung von "Ort und Form und Klang und Umgebung" ersetzt die in den meisten Fachbereichen verwendeten Begriffe wie Signal, Nachricht, Muster, Gestalt, Knall, Geräusche, Töne, Klänge und räumlichlbinaurales Hören.

[0004] Das ursprüngliche Ziel ist, bei der Wiedergabe am Ohr des hörenden Menschen so exakt wie möglich die gleichen Formbewegungen der Luftbestandteile zu erzeugen, die dann am Ohr angekommen wären, wenn der Hörende persönlich und direkt das jeweilige Geräusch vernommen hätte. Dafür müssen die Informationen über alle einzelnen Bewegungen in der Luft idealerweise vollständig und formgenau gespeichert und wiedergegeben werden.

[0005] Auf aktuellem Stand der Technik gelangt in der Praxis jedoch stets auf dem Weg von der ersten Umwandlung im Mikrofon über die Bearbeitung und Speicherung der elektrischen Schall-Information und der zweiten Umwandlung im Lautsprecher nur ein mehr oder weniger großer Anteil der Bewegungsinformationen ohne Verfälschung zurück in tatsächliche Luftbewegungen. Interessant ist, dass das gehörangepasste Audiokodierverfahren als "**nicht** Kurvenform - erhaltend" in der Literatur beschrieben wird (Thomas Sporer, Tech. Fakultät Universität Erlangen-Nürnberg-Ilmenau, Dissertation 1998, S.8).

[0006] Um zu zeigen, dass konventionelle Lautsprechersysteme und die bisher bekannten Mikrofone nur einfache Kurvenformen übertragen können, ist eine vergleichsweise sehr ausführliche Beschreibung der physikalischen Grundlagen und des bisher erreichten Standes der Technik erforderlich. Erst auf dieser Grundlage wird das Ziel dieser Erfindung erkennbar und nachvollziehbar, bei dem auch die vektoriellen Informationen in richtungsbezogener Formbewegung garantiert werden, so dass der Zuhörer zu den Klängen und Tönen auch deren Schallort und deren Formidentität formgenau, und damit lebensecht in 3D erfahren kann.

[0007] Auf aktuellem Stand der Technik wird es fast ausschließlich als die Aufgabe von Schallwandlern angesehen, periodische Schwingungen umzuwandeln, und zwar sowohl bei der Umwandlung von Schall in elektrische Spannungen - also einem Mikrofon - als auch bei der Umwandlung von elektrischen Spannungen in Schall - also bei einem Lautsprecher. Alle Kurvenform-Details im Schall werden deshalb fast immer als eine Überlagerung aus Wellen oder Schwingungen mit verschiedenen Amplituden und Frequenzen dargestellt.

[0008] Dabei wird jedoch vernachlässigt, dass Schall bereits bei der geringsten Bewegung eines Luftmoleküls entsteht. Dem entsprechend zeigen neueste Erkenntnisse, dass diese nur auf Wellen, Schwingungen und andere periodische Bewegungsformen fokussierte Betrachtungsweise zu eng ist, denn genau genommen ist schon die Bewegung eines einzigen Luftmoleküls bereits Schall.

[0009] Es ist also eine ganz wesentliche Erkenntnis, die die Basis der bisherigen Hörakustik grundlegend erweitert, dass auch eine nicht periodische Bewegungsform der Luftmoleküle Information im Schall ist und bei der Auslegung von elektromechanischen Wandlern unbedingt mit beachtet werden muss. Deshalb ist es für höchste Ansprüche an Schallwandler sinnvoll, ihre Eigenschaften und Fähigkeiten in Bezug auf nichtperiodische und periodische Bewegungsformen zu prüfen und zu optimieren.

[0010] Zur Charakterisierung von Schall muss der jeweilige Umkreis der folgenden drei Begriffen näher untersucht werden, nämlich "Ruhe" und "Impuls" und "Schwingung oder Welle". Bisher wurde beim Thema Schall vorrangig nur die Schwingung als eine stationäre, körperhafte und periodische Bewegungsform betrachtet.

[0011] Dieser Horizont ist eindeutig zu eng und muss auf nichtperiodische Bewegungsformen sowie den Gegensatz zu diesen Bewegungsformen ergänzt werden, nämlich die "Ruhe". Dabei ist die "Ruhe" zunächst einmal durch den quasi statischen Druck der Umgebungsluft definiert, also 1413 Hektopascal.

[0012] Die darin stattfindende "Braun'sche Bewegung" der Luftmoleküle ist genau genommen bereits eine Form von Schall, die auch als "Grundrauschen" bezeichnet wird. Es ist bekannt, dass zum "Wohlbefinden", also zum Normalzustand des Gehörs die Wahrnehmung dieses Grundrauschens zählt. Versuche haben gezeigt, dass Personen, die längere Zeit von dem Grundrauschen ferngehalten wurden, das als Belastung empfinden. Das

menschliche Gehör nimmt das Grundrauschen also deutlich wahr, stuft es aber bei der Auswertung im Gehirn als geradliniges Bewegungsform-Rauschen einer unauffälligen Umgebung und damit nicht als Schall ein.

[0013] Erst wenn sich ein Schall impuls als Kurvenformabweichung aus diesem Grundrauschen heraushebt, wird die Kurvenform als momentan neue Schall-Information bewertet. Daraus entsteht ein Erkennungs"Ansatz" für die vierfache Schall-Information aus Ort, Form, Klang und Umgebung in gesamtheitlicher Hörwahrnehmung. Diese, im Englischen auch "Onset" genannte mechanische Impulsänderung im Schall überschreitet das Grundrauschen, das also auch eine Grundhörschwelle, oder eine Überwachungs-Nulllinie ist. Dieser Zusammenhang ist ein eindeutiger Nachweis für die bisher deutlich unterschätzten Fähigkeiten des menschlichen Hörorgans und insbesondere von deren Auswertung im Gehirn in seiner zeitlich vierschichtigen komplexen Auswertung in zeitlicher Folge, wie auch Figur 1 zeigt.

[0014] Das vorgenannte Beispiel zeigt, dass bereits erstaunlich geringe Luftbewegungen vom menschlichen Gehör aufgenommen und ausgewertet werden. Deshalb muss für die Definition einer Schallwandlung von höchstmöglicher Güte, also einer Schallwandlung, die im Idealfall überhaupt nicht mehr als solche vom menschlichen Gehör wahrnehmbar ist, nochmals auf die primäre physikalische Ursache der menschlichen Wahrnehmung von Schall eingegangen werden.

[0015] Das führt zwangsläufig zu den Newton'schen Gesetzen als dem Grundgesetz der klassischen Mechanik: Der Begriff der "Ruhe" steht in Beziehung zum Newton'schen Trägheitsgesetz. Es sagt: "Alle Körper verharren bei Nichteinwirkung von Kräften im Zustand der Ruhe oder im Zustand der gleichförmigen **gradlinigen** Bewegung." Interessant ist, dass das Trägheitsgesetz bereits für die Schallinformation und für die Konstruktion von Schallwandlern von allergrößter Bedeutung ist. Denn in der Gehörschnecke im Innenohr des Menschen befindet sich eine **gradlinige** Messstrecke, die durch die bipolaren inneren Haarzellen, die 1HZ, gebildet werden, an denen sich alle Form**abweichungen** in Richtung und Amplitude als Vektor-Größen abbilden.

[0016] Die Bewegung der Masse, die ein Körper enthält, wird im deutschen Sprachgebrauch als "Impuls" bezeichnet, in anderen Sprachen auch als "Momentum". So wie die Geschwindigkeit dieser Bewegung ist der Impuls eine Vektorgröße, hat also neben einem Betrag auch eine Richtung.

[0017] In Newtons Mechanik ist der Impuls $\bar{p}$ eines Teilchens das Produkt aus seiner Masse **m** und seiner Geschwindigkeit $\bar{v}$:

Definition: Impuls**zustand** $\bar{p} = m \cdot \bar{v}$

[0018] Impuls und Geschwindigkeit sind dabei jeweils Vektoren mit einem bestimmten Betrag und einer bestimmtem Richtung.

[0019] Im Gegensatz zum Impuls**zustand** ist jedoch die Impuls**änderung** von entscheidender Bedeutung bei der Entstehung einer Schallbewegung, denn erst dadurch wird der schallgebende Körper in seinem Massevolumen ver**formt** und/oder **beschleunigt,** weil Kräfte auf zweierlei Weise ihre Wirkung auf Körper ausüben.

[0020] Wichtig für die Schallbewegungs-**Änderung** ist das dynamische Kraftgesetz oder Aktionsgesetz von Newton. Es wird auch das "Grundgesetz der Dynamit" genannt und bildet die Grundlage beim Aufstellen der Bewegungsgleichungen für zahlreiche Systeme der Mechanik, also auch für Schallbewegungen in der Luft: "Die Änderung der Bewegung einer Masse ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt."

[0021] Oder in einer $\bar{F}$ormel ausgedrückt: Die eine Bewegungsänderung bewirkende Kraft $\bar{F}$ ist der Impuls**änderung** über Zeitänderung bei Massenkonstanz **m** proportional:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (\mathbf{m}\ \text{konstant})$$

mit der Definition der Krafteinheit F = m · a
oder Kraft = Masse · Beschleunigung
Durch einen **Kraftstoß** von 1 N· s wird an einem Körper eine Impuls-**änderung** von 1 kg · m/s hervorgerufen.

[0022] In der Newtonschen Formel kommt klar zum Ausdruck, dass gekennzeichnete Größen Vektoren sind, also im Raum gerichtete Größen. Das gilt auch für Schallbewegungen.

[0023] Um die Verluste an Informationen bei konventionellen Schallwandlern bewerten zu können, muss auch grundlegend abgeklärt werden, welche Informationen das menschliche Ohr beim "Hören" überhaupt erhält und wie es sie auswertet. Es ist Teil des Allgemeinwissens, dass das menschliche Gehör unterschiedliche Töne aus einem Gemisch von sinusförmigen Schallwellen mit unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden voneinander unterscheidet, wie sie z.B. von Musikinstrumenten erzeugt werden. Auf diese Weise wird beim Hören das Klangbild einer Oboe von dem einer Geige differenziert.

[0024] Es setzt sich immer mehr die Erkenntnis durch, dass das menschliche Gehör keineswegs ausschließlich auf das Erfassen von stationären, periodischen Schwingungen der Luft beschränkt ist. Eine nicht minder bedeutungsvolle Aufgabe des Gehörs ist vielmehr auch das Erkennen von kurzzeitigen, dynamischen Luftdruckänderungen, sog. Transienten. Sie entstehen bei Geräuschen wie dem Knacken eines Zweiges oder dem Abschuss einer Gewehrkugel.

[0025] Es ist heute allgemein anerkannt, dass der

Mensch auch über einen Erkennungsmechanismus für derartige Geräusche verfügt. Bemerkenswert ist, dass diese Erkennung sehr viel schneller anspricht und viel früher zu der Wahrnehmung einer "gehörten Information" führt, als dies bei Sinusschwingungen der Fall ist.

[0026] Bereits winzige Änderungen in der statischen Luftdruckverteilung, die z.B. durch die Kraftwirkung eines brechenden Zweiges oder eines aufprallenden Gegenstandes entstehen, werden vom Menschen nicht nur sofort erkannt, sondern können auch nach einer - ansonsten nicht wahrnehmbar kurzen Zeit - zeitgenau nach ihrer Richtung beurteilt werden.

[0027] Die Erklärung dafür ist ein über viele Entwicklungsstufen des Gehörs und des Gehirns hinweg ausgebildeter Alarmmechanismus. Die Ursprünge menschlicher Hörleistungen sind Alarmmeldungen, die dazu dienen, eine Gefahr zu orten und in ihren Charakter zu bestimmen. In der Evolution der Primaten haben sich diejenigen Individuen durchgesetzt, die ihren "Freßfeind" so frühzeitig bemerkten und so rechtzeitig lokalisieren konnten, dass sie ihm erfolgreich entkamen.

[0028] Deshalb beherrscht das Gehirn des modernen Menschen als einen "Kunstgriff" zur Identifikation der Richtung des Initialgeräusches, dass der Pegel des primären Geräuschimpulses auf seinem Weg zum Gehirn von darauf spezialisierten Nervenzellen bis auf das dreißigfache verstärkt wird. Der Impuls hebt sich während dieser Zeit überdeutlich vom Normalpegel ab und kehrt wenige Millisekunden danach wieder in den Normalzustand zurück, in dem sich das Gehör vorrangig auf die Wahrnehmung periodischer Signale wie z.B. Tönen fokussiert ist.

[0029] Währendessen können im Gehirn die Signale des linken und des rechten Ohres miteinander verglichen und ausgewertet werden, so dass die Richtung des Geräuschimpulses lokalisiert werden kann. Diese Fähigkeit ist auch als binaurales Hören bekannt.

[0030] Bei allen Schallsignalen, die nicht frontal von vorne auf den menschlichen Kopf auftreffen, sondern aus anderen Richtungen kommen, entstehen sog. interaurale Laufzeitdifferenzen (ITD) und sog. interaurale Pegeldifferenzen (ILD).

[0031] Laufzeitdifferenzen können durch das menschliche Gehör bereits ab einer Größe von 10μs zur Richtungslokalisation ausgewertet werden, was einer Lokalisationsschärfe von etwa einem Grad entspricht. Bis zu einer Laufzeitdifferenz von 630μs erhöht sich die Lokalisation in etwa proportional zum Laufzeitunterschied. Eine Laufzeitdifferenz von 630μs entspricht einer Wegstreckendifferenz des Schalls von 21,5cm. Diese Größe wird auch "Hornbostel-Wertheimer Konstante" genannt und entspricht dem durchschnittlichen Abstand der beiden Ohren am menschlichen Kopf.

[0032] Bei relativ langsam ansteigenden Impulsen wertet das Gehirn vorrangig die Phasendifferenzen zwischen den Signalen der beiden Ohren aus und bestimmt daraus die interaurale Laufzeitdifferenz (ITD).

[0033] Bei sehr schnell ansteigenden Impulsen basiert die Lokalisation auf der Auswertung interauraler Pegeldifferenzen ILD, sowie auf der Auswertung interauraler Gruppenlaufzeit-Differenzen, also den Laufzeitdifferenzen der Signal-Hüllkurven.

[0034] In einem dazwischen liegenden Bereich mittlerer Steilheit überlappt sich der Wirkungsbereich der beteiligten Effekte. Mit zunehmender Steilheit des Impulses wird der Winkelbereich, in dem interaurale Phasendifferenzen ausgewertet werden können, immer kleiner. Dafür steigt die Größe der interauralen Pegeldifferenzen.

[0035] Zu diesen Abläufen schreibt auch F. Pfander "Das Knalltrauma", Springer 1975, Berlin und "Das Schalltrauma", BMdV Bonn 1994. In Anlehnung daran zeigt Fig. 1 den Verlauf des Luftdrucks in Abhängigkeit von der Zeit am Ohr eines Zuhörers, wenn in einem gewissen Abstand von diesem durch eine einmalige, rechteckförmige Krafteinwirkung eine dynamische Luftdruckänderung erzeugt wird, nachfolgend auch kurz als "dynamische Druckänderung" bezeichnet. Umgangssprachlich wird eine solche dynamische Druckänderung auch "Knall" genannt.

[0036] Sie hat ihren Ursprung im sog. Onset-Zeitpunkt **t0**, von dem aus der Luftdruck zunächst innerhalb des Zeitintervalls **t0 - t1** bis zum höchsten Druckwert **Pm** ansteigt. Darauf folgt ein aperiodischer Druckausgleich, währenddessen der Luftdruck ab dem Zeitpunkt **t2** unter den atmosphärischen Luftdruck **Pa** absinkt und erst zum Zeitpunkt **tv** wieder auf den atmosphärischen Luftdruck **Pa** angestiegen ist.

[0037] Der Verlauf dieser Druckänderung lässt sich in vier verschiedene charakteristische Zeitzonen einteilen, die durch unterschiedliche phänomenologische Wirkung beim Menschen gekennzeichnet sind. Während des ersten Druckänderungsbereiches im Zeitintervall **t0 - t1** beschleunigt die im Onset-Zeitpunkt **t0** einwirkende Kraft die relevanten Luftmassen.

[0038] Diese Beschleunigung ist auch als zeitliche Änderung der Geschwindigkeit zu bezeichnen. Je nach der Größe des maximalen Druckwertes **Pm** bewirken die mit variabler Geschwindigkeit bewegten Luftmoleküle im menschlichen Gehör den Eindruck eines "Knalls" oder eines "Knackens".

[0039] Zusätzlich zu der Information, dass überhaupt ein Geräusch zu hören ist, leitet das menschliche Gehör aus dem Laufzeitunterschied des Schalls zwischen den beiden Ohren die Information über den räumliche Ursprung des Schalls ab, indem es die Richtung ermittelt, aus der er kommt. Dazu ist es bereits innerhalb des Zeitintervalls **t0 - t1** in der Lage, da - wie zuvor bereits erwähnt - der maximal erkennbare Laufzeitunterschied des Schalls bei der Auswertung über beide Ohren ca. 630 μs betragen kann, wenn ein durchschnittlicher Ohrabstand von 21 cm, eine Schallgeschwindigkeit von 343 m/s und ein genau seitlicher Einfall des Schalls in Richtung einer - gedachten - Verbindungslinie zwischen beiden Ohren vorausgesetzt werden kann.

[0040] Nach der Messung der Richtung des Schalls konzentriert sich das Gehirn in einer zweiten Zeitzone **t1**

- tv auf die Erkennung der Ursache des Schallimpulses. Typisch für diese Zeitzone ist der Ausgleich des maximal erreichten Luftdruckwertes **Pm**. Dieser Druckausgleich erzeugt ein weiteres Geräusch, das einem sog. "ausklingenden Grundton" ähnelt.

[0041] Der Begriff "Grundton" bezieht sich auf die Musik, die sich primär mit "Tönen" beschäftigt, also mit periodischen Schwingungen. Diese Schwingungen sind in der Praxis fast nie genau sinusförmig, lassen sich aber in eine Summe aus zahlreichen Sinusschwingungen zerlegen, was als Fourier-Analyse bezeichnet wird.

[0042] Die sich dabei ergebende Schwingung mit der tiefsten Frequenz - also mit der längsten Periodendauer - wird als "Grundton" bezeichnet. Alle anderen Schwingungen mit höheren Frequenzen sind sog. "Obertöne". Der "Grundton" bestimmt die wahrgenommene Tonhöhe, während die mitschwingenden "Obertöne" die Klangfarbe des Tones bestimmen. Sind die Obertöne eher gering ausgeprägt, spricht man von einem "grundtönigen" Klang.

[0043] In der zweiten Zeitzone **t1 - tv** hängt die Art des von den Hörorganen aufgenommenen Grundtons u. a. von der zeitlich transportierten Energie der Sprunganregung ab.

[0044] Versuche haben das überraschende Ergebnis erbracht, dass in der zweiten Zeitzone **t1 - tv** die Druckänderung in Form eines "ausklingenden Grundtons" in den Hörbereichen des Gehirns fast gar keine Tonhöhen-Empfindung bewirkt, obwohl eine Druckänderung von gleichem Verlauf in der vierten Zeitzone - etwa 30 ms nach **t0 -** sehr wohl als Ton empfunden wird. Deshalb werden die beiden Zeitzonen von **t0 - tv** auch als sog. "Verdeckungszeit" bezeichnet. Obwohl die Druckänderung in der zweiten Zeitzone **t1 - tv** periodisch und nicht sprungartig abläuft ist vor dem Erreichen des Zeitpunkts **tv** kein Tonhöhen-Empfinden möglich. Stattdessen ist das Gehirn vorrangig auf die Erkennung der Art des Geräusches fokussiert.

[0045] Erwachsene können in dieser zweiten Zeitzone bereits z.B. eine Trompete von einer Geige unterscheiden. Das ist insbesondere deshalb bemerkenswert, weil bei einem kontinuierlichen Ton diese beiden Arten von Musikinstrumenten sehr geringe Unterschiede in ihrem Klang aufweisen. In dieser Zeit hat im Gehirn der Vergleich mit erlernten Geräuschmustern den Vorrang.

[0046] Die Dauer der Verdeckungszeit beträgt je nach Anregung z. B. 10 ms bis 22 ms, was bei einer sinus- oder cosinusförmigen Onset-Anregung einer Anzahl von rund 9 bis 22 Perioden einer 1 kHz-Sinusschwingung entspricht. **Vor** Ablauf dieses Zeitintervalls **t0 - tv** sind nach genauen empirischen Erkenntnissen des Erfinders nur der Ort und die Art einer Schallquelle wahrnehmbar.

[0047] Die dritte Zeitzone ist der sog. Unschärfebereich um den Zeitpunkt **tv** herum. In dieser Zeitzone ist das Gehirn bei der Auswertung der Druckänderungen nicht mehr auf Vergleiche mit Geräuschmustern beschränkt, sondern es setzt die Tonhöhenempfindung ein. Der Unschärfebereich beginnt - je nach Individuum etwa 10ms nach dem Onset-Zeitpunkt **t0** und endet spätestens etwa 30 ms nach **t0**.

[0048] Erst in der folgenden, vierten Zeitzone, also - etwa 30 ms nach **t0 -** analysiert das Gehirn die Druckänderungen vorrangig auf die darin enthaltenen Frequenzen und deren Anteil am Frequenzspektrum. Erst nach diesem Zeitpunkt setzt im Gehirn das ein, was bisher oft alleine unter "Hören" verstanden wurde.

[0049] Tatsächlich besteht das Hören jedoch aus der ersten Zeitzone, die mit dem Onset zum Zeitpunkt **t0** beginnt und die etwa bis zum Zeitpunkt **t1** fast ausschließlich für den angeborenen Gehirnprozess zum Ortserkennen der Schallquelle reserviert ist. Der zweite Teil des "Hörens" ist die zweite Zeitzone **t1 - tv**, die vor allem zum Vergleich mit erlernten Geräuschmustern genutzt wird. Erst in der dritten Zeitzone, dem Unschärfebereich von etwa 10ms bis etwa 30ms nach **t0,** werden diese Prozesse abgeschlossen und die vierte Zeitzone mit dem Erkennen von Tonhöhen und Klangfarben beginnt.

[0050] Von diesen vier Zeitzonen des Hörens werden die ersten drei auch heute noch oft verkannt. Eine Erklärung dafür ist, dass während dieser drei ersten Zeitzonen Tonhöhen und Klangfarben fast gar nicht wahrgenommen werden, bei der Auswertung im Gehirn also "verdeckt" sind. Die bis heute überwiegend betrachtete Frequenzanalyse von Tönen und Klängen setzt erst nach dem Ablauf der vom Geräusch ausgelösten Verdeckungszeit **tv** ein, die mit dem Onset-Zeitpunkt **t0** beginnt.

[0051] Im Folgenden wird ein weiterer, wichtiger Effekt beim "Hören" beschrieben, der deutlicht macht, dass das menschliche Gehör über Fähigkeiten verfügt, die über das Wahrnehmen von gleichmäßigen periodischen Bewegungen weit hinausgehen. Es ist bekannt, dass das Gehör einem harmonischen Klang eine Tonhöhe zuordnet, deren Frequenz dem bereits erwähnten Grundton entspricht. Bei der Zerlegung eines Klanges in eine Vielzahl von sinusförmigen Schwingungen, auch Teiltöne genannt, ist der sog. Grundton der Teilton mit der niedrigsten Frequenz.

[0052] Dass beim Hören von allen Teiltönen, die der Klang enthält, gerade der Unterste zum Leitton gemacht wird, der dann durch seine Tonhöhe den ganzen Klang prägt, könnte ja dadurch zu erklären sein, dass bei den meisten Klängen der Grundton derjenige Teilton mit der größten Amplitude ist. Und in der Regel dominiert unter den Teiltönen der Grundton tatsächlich.

[0053] Deshalb hat man bis vor wenigen Jahrzehnten geglaubt, dass der Grundton aufgrund seiner spektralen Dominanz die Tonhöhe des ganzen Klanges bestimme. Das folgend beschriebene Experiment zeigt sehr eindrucksvoll, dass dem nicht so ist: Wenn ein elektronisch erzeugter, sägezahnförmiger Ton über einen Lautsprecher ausgestrahlt wird, empfindet das Gehör die Tonhöhe dieses harmonischen Klanges erwartungsgemäß mit der Frequenz des Grundtons. Und tatsächlich ist hier der Grundton auch mit der weitaus größten Amplitude im

Klangspektrum enthalten.

[0054] Wenn im nächsten Schritt des Versuches der Grundton elektronisch herausgefiltert wird, entsteht ein Ton, dessen tiefster Teilton nunmehr die doppelte Frequenz des Grundtones und die größte Amplitude aufweist. Eigentlich wäre im ersten Ansatz zu erwarten, dass dieser verstümmelte Klang deshalb eine Oktave höher klingen würde als der ursprüngliche, sägezahnförmige Ton. Das ist aber nicht der Fall. Zwar verliert der Klang viel von seiner tiefen, vollen Klangfarbe, aber seine Klangtonhöhe ist eindeutig die gleiche geblieben, nämlich die des - nun nicht mehr im Spektrum enthaltenen - Grundtons.

[0055] Es ist also davon auszugehen, dass das Gehör die Klangtonhöhe aus der Gesamtheit der Teiltöne bestimmen kann. Im Hörzentrum des Gehirns ist die Erfahrung abgespeichert, dass ein harmonischer Klang stets aus Teiltönen besteht und dass in einem Klang meistens der Grundton dominiert, weshalb grundsätzlich dem Klang die Tonhöhe des Grundtons zugeordnet wird. Erscheint dem Gehör nun ein Klang, in dem der Grundton nicht dominiert oder gar fehlt, so rekonstruiert es dennoch den gewohnten Klang aus den vorliegenden Informationen, nämlich aus den übrigen Teiltönen. Das Gehör extrapoliert gewissermaßen den fehlenden Grundton, indem es aus der Systematik der vorhandenen Harmonischen auf das Vorhandensein eines Grundtons schließt.

[0056] Auch andere menschliche Sinnesorgane besitzen ähnliche Fähigkeiten, und zwar vorzugsweise für zeitlich stationäre Ereignisse. Z.B. hat das menschliche Gehirn ein gutes Gedächtnis für Bildeindrücke, weniger jedoch für deren zeitliche Folge. Dem entsprechend dient auch der "Spektralapparat Gehör" wie jeder andere Spektralapparat dazu, zeitliche Veränderungen als stationäre Ereignisse darzustellen. Es könnte also sein, dass der Aufwand der Spektralanalyse der Schallbewegungen im Ohr dazu dient, stationäre und damit lern- und speicherbare Informationen zu erhalten.

[0057] Wenn Schallereignisse auf das Trommelfell des menschlichen Ohres treffen, werden sie über Hammer, Amboss und Steigbügel mechanisch um das etwa 22-fache verstärkt als mechanische Schwingungen an die Hörschnecke weitergeleitet. Die Hörschnecke besteht - auseinander gerollt und vereinfacht beschrieben - aus drei parallel verlaufenden, flexiblen Schläuchen, auch Scala genannt. Der mittlere der drei Schläuche ist die Scala media, die an einer Seite an die Scala vestibuli angrenzt und an der gegenüberliegenden Seite an die Scala tympani. Am Ende der Hörschnecke sind die Scala vestibuli und die Scala tympani miteinander verbunden und beide mit der flüssigen Perilymphe befüllt.

[0058] Die Verbindungsfläche zwischen der Scala media in der Mitte und der Scala vestibuli ist die Reissnersche Membran und die Verbindungsfläche zwischen der Scala media und der Scala tympani ist die Basilarmembran. Die letztere ist am Anfang der Hörschnecke schmal und steif und am Ende breit und weich.

[0059] Ein eintreffender Schallimpuls wird vom Steigbügel über das ovale Fenster in die Scala vestibuli eingeleitet und pflanzt sich dort in der flüssigen Perilymphe als eine Wanderwelle fort. Deren Druck wird durch die Reissnersche Membran hindurch in die Scala media und von dort durch die Basilarmembran hindurch in die Scala tympani weitergeleitet.

[0060] Durch die genannte Charakteristik der Basilarmembran nimmt über die Länge der Hörschnecke hinweg die Geschwindigkeit der Wanderwelle ab und die Verformung der flexiblen Basilarmembran nimmt dafür zu. Es wandert also eine Verformung die Scala media entlang, die bei sehr steilen Anstiegen des Schallimpulses oder entsprechend bei sehr hohen Frequenzen schon im vorderen Teil der Hörschnecke ihre maximale Auslenkung hat und bei sehr langsamen Impulsanstiegen oder bei sehr niedrigen Frequenzen erst im hinteren Teil der Hörschnecke ihr Maximum erreicht.

[0061] Deshalb entspricht die Länge der ausgerollten Cochlea von 31,5 mm auch der unteren Grenzfrequenz der vom Menschen als Ton wahrnehmbaren Schwingung von 16 Hz.

[0062] Zur Übertragung der Information über diese Verformung dienen die Haarzellen, die an einem Ende mit der Tektorial- oder Deckmembran verbunden sind und am anderen Ende auf der Basilarmembran mit Nervenzellen in Verbindung stehen. Die Tektorialmembran ist ein schmaler Streifen, der sich parallel zur Basilarmembran durch die Scala media erstreckt und dort an einer Längskante verschwenkbar angewachsen ist.

[0063] Auch die schlauchförmige Scala media in der Mitte zwischen den beiden Schläuchen der Scala vestibuli und der Scala tympani ist mit einer Flüssigkeit befüllt, nämlich der **Endolymphe**. Die Bewegungen der Scala vestibuli und der Scala tympani werden deshalb auch an die **Endolymphe** in der Scala media weitergegeben.

[0064] Durch diese Bewegungen verschwenken sich ebenfalls die Tektorialmembran und die Basilarmembran gegeneinander und erregen so die eigentlichen Schallsensoren im Innenohr, nämlich die Haarzellen, die daraufhin Botenstoffe, die sie in kleinen Vesikeln vorrätig halten, als Information über Nervenzellen weiter an das Gehirn geben.

[0065] Dabei übertragen die Haarzellen die Information mit größter zeitlicher Präzision und zeigen die höchsten Übertragungsraten im gesamten Nervensystem. Erst seit 2005 ist klar, wie die Haarzellen solch hohe Raten bewerkstelligen können.

[0066] Claudius P.Griesinger vom Physiologischen institut II der AlbertLudwigs-Universität Freiburg hat zusammen mit Forschern des University College in London herausgefunden, dass z.B. die Nervenzellen der Großhirnrinde oder des Hippocampus ihre Botenstoffe über Vesikel ausschütten, die sie ständig recyceln und wieder füllen, sich hingegen die Haarzellen nur zu etwa zehn Prozent auf das langsame Recycling der Vesikel stützen . Die meisten ihrer Vesikel produzieren sie kontinuierlich in ihrem Zellkörper, so dass ständig ein großer Vorrat an Botenstoff-Paketen zur schnellen und akkura-

ten Signalweiterleitung zur Verfügung steht.

[0067] Bei herkömmlichen Nervenzellen können maximal nur etwa 20 Vesikel pro Sekunde freigesetzt werden, da das Recycling höhere Übertragungsraten nicht zulässt. Die Haarzellen im Ohr haben durch ihre Vorratsproduktion der Vesikel die maximal mögliche Freisetzung um Größenordnungen gesteigert. Dadurch können sie Information mit viel höheren Geschwindigkeitsraten übermitteln, was überhaupt erst eine präzise Übertragung der zeitlichen Feinstruktur von akustischen Informationen ermöglicht.

[0068] Die Haarzellen sind in zwei Gruppen aufgeteilt, nämlich die inneren Haarzellen (IHZ) und die äußeren Haarzellen (ÄHZ). Die inneren Haarzellen in der Scala media erkennen wegen ihrer mechanisch geradlinigen Aufreihung auf der Basilarmembran aus ansonsten gleichförmig-geradlinigen Schallbewegungen eine Krümmung in positiver und negativer Richtung als absolute physikalische Zeitpunkt-Ursache einer beschleunigten Bewegungsänderung im Schall-Ansatz aus der Ruhe oder seinem Schall-Fortsatz.

[0069] Möglich wird diese Vektor-Sensorik der Haarzellen dadurch, dass sie - im Gegensatz zu den äußeren Haarzellen - nicht mit der Tektorialmembran verbunden sind. Stattdessen können sie sich freischwimmend innerhalb der Endolymphflüssigkeit der Cochlea bewegen. Bisher werden sie in der Literatur ebenso wie die äußeren Haarzellen als angedockt an die Tektorialmembran dargestellt.

[0070] Als verfügbarer Analysierbereich stehen 31,5 mm Zilien-Weglänge zur Verfügung. Diese Weglänge wird von einem Kraftstoß-Impuls in etwa 5ms vom ovalen Fenster bis zum Heliokotrema durchlaufen. Die Dispersion mit ihrer Wurzel aus der Geschwindigkeit des Biegewellenmechanismus in der Cochlea erweitert das Verhältnis des Zeitbereiches von 10μs bis 10ms, also 1:1000, auf 1: 31,6ms Zeitdauer. Somit beträgt auch die zurückgelegte Weglänge 31,6mm. Auf dieser Wegstrecke stehen in gradliniger Reihenfolge etwa 3200 bipolare Haarzellen (IHZ), welche die Richtung und die Amplitude (max. 30 dB) über der Hörschwelle als sich ändernde Impulsformung im Schall als Information (lat.: In-Form-Machung) detektieren können. Ein Beispiel ist der sog. "Schlagton" einer Glocke. Der Grund ist, dass es eben nur ein Kraftstoß-Impuls, ohne Periodizität und von augenblicklicher Natur ist (Trendellenburg: Akustik, S. 59, Springer 1961).

[0071] Für das komplette Impuls-Intervall - als Gegensatz zum "Onset-Zeitpunkt zur Ortsbestimmung (Lokalisation) - steht der transversale Vektorkreis zur Verfügung. Sein Umfang entspricht 2 x 5 ms x 3,14 (π), was einen Laufzeit Erkennungsbereich von 31,4 ms ergibt. Damit stehen 31,4 ms für den schallgebenden Körper in seiner Abbildung als Quellen-Ort und -Gestalt dem Gehör zur Verfügung (siehe Fig.1). In dieser Zeitspanne wird im Erkennen das Einzelbild einer ikonischen Darstellung unterbewusst in der menschlichen Wahrnehmung als Hörereignis präsentiert, wenn der kleinste Punkt (3200:31,4 ms $\approx$ 10ms) für das zentrale Abbildungsvermögen von **10 μs Zeitdauer** in seiner **Hörschärfe** von der Welt der Technik der menschlichen Hörwelt zur Verfügung gestellt werden kann. Hierzu dient die neue 3D Stereo-Spaltmikrofon-Technik.

ÄHZ-Empfinden:

[0072] Die an der Tektorialmembran angedockten Sinneszellen analysieren anhand ihrer Sinus-Halbwellenförmigen Anordnung, auch V- oder W-Formung genannt, die periodischen Schallschwingungen, die je nach ihrer Tonhöhe mit ihrem Amplitudenmaximum an einem bestimmten Ort auf der Basilarmembran abgebildet werden. In den drei Reihen der ÄHZ ergeben sich 30 dB im Amplituden-Maximum, was zusammen mit den IHZ bis zu 120 dB, der Schmerzgrenze, führt (Wolf D. Keidel, Erlangen, Physiologie des Gehörs, Thieme Verlag Stuttgart 1975). In der wissenschaftlichen Literatur wurden darüber viele Vorstellungen und Modelle seit Helmholtz veröffentlicht.

[0073] Diese bei der Schallübertragung wesentlichen Besonderheiten des menschlichen Hörens müssen auch von den als Schallwandler dienenden Lautsprechern berücksichtigt werden, denn nur dann hat ein hochwertiges Mikrofon, dessen elektrische Ausgangssignale alle Informationen geliefert hat, die in den Bewegungsimpulsen am Ort der Entstehung eines Geräusches oder eines Tones enthalten sind, überhaupt einen Nutzen.

[0074] Da die Güte einer verketteten Übertragung eines Geräusch- oder Klang-Impulses über Bewegungen der Luftmoleküle, über ein Mikrofon, das zwei elektrische Signale erzeugt und über zwei Lautsprecher, die aus diesen Signalen wieder Bewegungen von Luftmolekülen erzeugen bis hin zum menschlichen Gehör nur so hoch sein kann, wie das schwächste Glied in dieser Kette, muss im Folgenden auch auf die Übertragungsgüte der Lautsprecher gemäß dem aktuellen Stand der Technik eingegangen werden.

[0075] Denn wesentliche Erfordernisse bei der Übertragung von Schall werden beim Bau von den meisten Schallwandlern auch 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.

[0076] Dagegen bleibt weitgehend unberücksichtigt, ob mit einem Lautsprecher auch ein dem dynamischen Druck-Zeitverlauf nach Fig.1 entsprechender Kurvenverlauf erreichbar ist, was zur vollständigen Übermittlung aller im Zeitintervall **t0 - tv** vorhandenen Informationen und damit für einen dem Signal dynamisch genau folgenden Verlauf erforderlich ist.

[0077] Wenn es also um die Aufzeichnung und die Wiedergabe von Geräuschen und Tönen geht, dann müssen von den elektromechanischen Wandlern, die als Mikrofon die Bewegungen von Luftmolekülen in elektri-

sche Signale umsetzen, sowie von den - als Lautsprecher bezeichneten - anderen elektromechanischen Wandlern, die diese Signale wieder zurück in Schall, also wieder in Bewegungen von Luftmolekülen umwandeln - idealer Weise sämtliche zuvor beschriebenen Informationen übertragen werden.

[0078] Auf aktuellem Stand der Technik bestehen durchschnittliche Lautsprecher aus einem Hohlkegel, der an seinem Rand mit einem umlaufenden, federnden Streifen fest eingespannt ist und in seiner Mitte von einem elektrischen Antrieb vor und zurück bewegt wird.

[0079] Um zu prüfen, wieweit ein solcher herkömmlicher Lautsprecher auch einen Schallimpuls exakt wiedergeben kann, wird er einer Sprunganregung unterworfen, indem sein Antrieb mit einer Gleichspannung verbunden wird, wodurch eine dynamische Druckänderung bewirkt wird.

[0080] Wenn die Wiedergabetreue des Lautsprechers den zuvor genannten Anforderungen entsprechen würde, würde er bei einer dynamischen, sprungartigen Aktivierung seines Antriebes eine Kurve für die Druckänderung in Abhängigkeit von der Zeit erzeugen, die zur Figur 1 identisch wäre.

[0081] Auf dem für Lautsprecher derzeit am weitesten verbreiteten Stand der Technik ergeben sich jedoch ganz andere Kurvenverläufe, die in Fig. 2 beispielhaft dargestellt sind. Fig. 2 zeigt oben links das rechteckförmige elektrische Eingangssignal für den Antrieb des Lautsprechers und daneben 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 Quellen zur Erzeugung der dynamischen Druckänderung der Luft verwendet werden.

[0082] Es zeigt sich, dass die Kurvenverläufe innerhalb der gemäß Fig.1 ersten Zeitzone **t0 - t1** und der zweiten Zeitzone **t1 - tv** in erheblicher Weise verfälscht werden. Insbesondere innerhalb der zweiten Zeitzone **t1 - tv** wird der durch die Sprunganregung eigentlich zu reproduzierende, theoretisch ideale "ausklingende Grundton" durch zahlreiche, vom jeweiligen Lautsprecher erzeugte ganz kurze Geräusche überlagert, die etwa 0,1 Millisekunden bis zu 20 Millisekunden andauern und vom der Lautsprechermembrane zu Beginn jeder Klangerzeugung entwickelt werden.

[0083] Die Lautsprechermembrane ist eine relativ träge Masse, die durch den elektrischen Antrieb in eine Richtung gestoßen wird, wobei sie sich dem Auslenken die Federkraft der Membrane und ihrer Aufhängung solange entgegensetzt, bis die Masse zum Stillstand kommt. Dann beschleunigt die Federwirkung die Membrane wieder in die andere Richtung und schwingt dabei über ihre ursprüngliche Ruhelage hinaus. Mit diesem Einschwingvorgang pendelt sich der Lautsprecher auf Schwingungen mit einer bestimmten Frequenz ein.

[0084] Konventionelle Lautsprecher reproduzieren nämlich nicht nur sehr frequenzgetreu Musik, sie produzieren auch ständig eine Unmenge ganz kurzer Geräusche, die etwa 0,1 Millisekunden bis zu 20 Millisekunden andauern.

[0085] Die Unterteilung in Hochton-, Mittelton- und Tieftonlautsprecher bedingen auch noch unterschiedliche Eigenschwingungen bei den üblichen Masse/Feder-Systeme herkömmlicher Wandler. In einer konventionellen Dreiwege-Box sind in Folge die drei ganz verschiedenen Einschwinggeräusche von Hochton-, Mittelton- und Tieftonlautsprecher zu hören.

[0086] Diese Verfälschungen sind eine Ursache dafür, dass bei sprungförmiger Anregung konventioneller Lautsprecher die Kurve des Schalldruckes über der Zeit von der idealen Kurve einer sehr getreuen Musik und Geräuschwiedergabe deutlich abweicht.

[0087] Dieser Effekt wird derzeit auch unter dem Begriff der "Impulstreue" diskutiert. Als Impulstreue wird das Vermögen eines Lautsprechers bezeichnet, einem impulsförmigen Signal möglichst ganz ohne Einschwing- bzw. Ausschwingvorgänge zu folgen. Stattdessen produzieren die meisten Lautsprecher auf aktuellem Stand der Technik selber Schwingungen mit tiefen, mittleren und hohen Frequenzen, die unter anderem durch Partialschwingungen auf der Membran, eine insgesamt hart aufgehängte Membran und Hohlraumresonanzen in der Lautsprecherbox und im Hörraum hervorgerufen werden.

[0088] Wenn eine konventionelle Lautsprechermembran einen Impuls abstrahlen soll, so löst das Bewegungen der Lautsprechermembran aus, die wellenförmig nach außen laufen. Dadurch wird noch Schall abgestrahlt, obwohl der Impuls längst zu Ende ist. Im Regelfall ist der Rand der Membran nicht mit dem korrekten Wellenwiderstand abgeschlossen, so dass die Welle reflektiert wird und den Impuls weiter verlängert.

[0089] Dadurch wird eine einwandfreie Reproduktion der Schallsignale und der dazu erforderlichen Druckänderungen unmöglich, denn in der ersten Zeitzone **t0 - t1** und in der zweiten Zeitzone **t1 - tv** eines Schallimpulses, in denen das menschliche Gehör und das Hörzentrum des Gehirns eigentlich den Ort und die Art des Schallimpulses ermitteln, ist der Schallimpuls überhaupt nicht hörbar, sondern es erklingen nur die Betriebsgeräusche des einschwingenden Lautsprechers. Dadurch wird die Aufmerksamkeit des Zuhörers auf die Lautsprecher, ihre Größe und ihren Aufstellungsort gelenkt.

[0090] Nach vielen Jahren von Forschungs- und Entwicklungsarbeit von J. W. Manger ist es jedoch jetzt gelungen, einen elektroakustischen Wandler zu schaffen, der bei einer Sprunganregung im wesentlichen einen der Fig. 1 entsprechenden Kurvenverlauf bewirkt. Ein Ergebnis dieser Forschungen und Entwicklungen ist der unter der Bezeichnung MSW bekannte Biegewellenwandler, wie u.a. in DE PS 18 15 694, DE 22 36 374 C3, DE25 00 397 A1 und DE 27 25 346 C3 beschrieben.

[0091] Das Wirkungsprinzip dieses Biegewellenwandlers weicht von üblicher Wandlern mit Konusmembranen

dramatisch ab. Hier dient zur Schallabstrahlung eine biegeweiche, zähelastische Membran, die in Richtung ihrer Anregung nahezu keine Rückstellelastizität besitzt. Sie erzeugt Biege- bzw. Wanderwellen, 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 Mikrosekunden entsprechend der ersten Zeitzone t0-t1 erzielt werden. Mit derartigen Biegewellenwandlern ist es erstmals möglich, die Kurvenverläufe nach Fig. 1 nahezu unverfälscht zu reproduzieren.

[0092] Dies zeigt Fig. 3 in einer zu Fig. 2 analogen Darstellung. Die erhaltene Luftdruckänderung 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.

[0093] Die beschriebenen Unterschiede zwischen den beiden Wandlertypen sind besonders bei stereophonen Reproduktionen mit zwei Lautsprechern sehr deutlich wahrnehmbar. Bei Anwendung herkömmlicher Lautsprecher ist eine Stereo-Übertragung trotz der genannten grundsätzlichen Mängel nur dann 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 unterschwellig und intuitiv erkannt wird. Als "intuitiv" werden Informationsverarbeitungen im Gehirn bezeichnet, von denen nur das Ergebnis, nicht aber der Verarbeitungsvorgang wahrgenommen werden.

[0094] Biegewellenwandler nach dem Prinzip von J.W. Manger sind jedoch im wesentlichen frei von Eigenschwingungen, so dass sich bei einem Entfernen eines Zuhörers aus der Stereomitte auch ein anspruchsvolles Hörempfinden nicht verändert, 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. Und das insbesondere auch beim **Ansatz** der Schallschwingungen, dem für die geometrische Ortung im Gehirn des Hörenden entscheidend wichtigen Teil eines jeden Geräusches.

[0095] Mit dem MSW-Wandler kommt der Musikhörer der Illusion nahe, vor dem Instrument selbst zu sitzen, denn die Reproduktion ist praktisch nicht mehr hörbar, da der MSW-Wandler keine Einschwinggeräusche mehr abstrahlt. Anstelle von Lautsprechereigengeräuschen nimmt das Gehör nur noch die Einschwingvorgänge der Musikinstrumente wahr, die das Instrument im Konzertraum lokalisieren und sein Charakterbild wiedergeben.

[0096] Das entscheidende Merkmal ist die dünne und biegeweiche Plattenmembrane, die aus drei Schichten besteht. Sie speichert keine Kräfte, die durch Antrieb oder Rückfederung entstehen. Stattdessen heben die gegeneinander wirkenden Masse- und Federkräfte ihre Speicheranteile innerhalb der Membrane selbst auf. Sie werden mit dem Schall als Wärme abgeführt.

[0097] Die Membrane schwingt in einer Anstiegszeit von nur 0,014 Millisekunden auf die Signalfrequenz und hält diesen Ton bis zur musikalisch vorgegebenen Signaländerung. Mit einer einzigen Membrane wird der ganze Übertragungsbereich von 80 Hertz bis 33 Kilohertz abgedeckt. Damit können die bei konventionellen Mehrfach-Lautsprechern notwendigen Frequenzweichen und phasenungleichen Überlappungen im klangbildbestimmenden Frequenzbereich vermieden werden.

[0098] Stattdessen entsteht hier der Klang auf einer einzigen, relativ sehr kleinen Fläche, die im Vergleich zu bisherigen Systemen dem Ideal der Klangerzeugung in einem Punkt schon sehr nahe gekommen ist. Alle Wellen, die ihn definieren, bilden vor der Membrane eine komplexe Schalldruckwellenform, da hohe und niedrige Frequenzen gleichzeitig an unterschiedlichen Stellen der einen Membrane entstehen. Im Vergleich zu konventionellen Lautsprechern wird das Eingangssignal nahezu perfekt abgebildet, so dass an das menschliche Ohr das ursprüngliche und vollständige Schalldruckbild gelangt, das einmal das Mikrofon zur Reaktion gebracht hat.

[0099] Dennoch hat sich überraschend gezeigt, dass sehr empfindsame Zuhörer auch bei Anwendung von Biegewellenwandlern nach dem soeben beschriebenen Prinzip immer dann, wenn sie sich außerhalb der Stereomitte befinden, nicht klar definierbare Änderungen der Schallwiedergabe erkennen können. Messungen haben ergeben, dass dies direkt darauf zurückzuführen ist, dass der Onset-Zeitpunkt **t0** umso stärker verschoben und die Anstiegsflanke von Pa auf Pm-siehe Figur 2 - umso stärker verformt wird, je weiter sich der Zuhörer aus der Mittelachse des Biegewellenwandlers entfernt.

[0100] Dies ist in Figur 4 gezeigt, bei der das gleiche Messverfahren wie in Figur 3 angewandt wurde. Der Lautsprecher wurde also mit einer rechteckförmigen Spannung erregt und seine Sprungantwort mit einem Messmikrofon erfasst. Bei der Anordnung des Messmikrofons in der Mittelachse ergibt sich für den Verlauf des Luftdruckes am Biegenwellenwandler über die Zeit hinweg die Kurve A_0-B_0. Wenn das Messmikrofon dann in Schritten von jeweils etwa 15° aus der Mittelachse verschoben wird, werden vom Messmikrofon die Druckverläufe A_1-B_1 bis A_4-B_4 gemessen. Mit zunehmender Entfernung des Messmikrofons von der Mittelachse bis zum Extremfall einer Entfernung von 60° wird der Verlauf des Druckanstieges am Biegewellenwandler immer mehr zu einer S-Kurve. Der Anstieg ist also nicht linear.

[0101] In Figur 4 ist das Messergebnis auf der Zeitachse mit einem Maßstab von 50 Mikrosekunden pro Rastereinheit wiedergegeben. Figur 4 zeigt, dass der nichtlineare Verlauf des Druckanstieges der Kurve A_4-B_4 sich über den Zeitraum von etwa einer Rasterlänge, also von

etwa 50 Mikrosekunden erstreckt. Im Vergleich mit der Figur 1 wird deutlich, dass die "erste Zeitzone t0-t1" des menschlichen Hörens mit der Schallquellenortung nach einer derart langen Zeit bereits nahezu verstrichen ist. Deshalb ist auch mit einem Biegenwellenwandler nach dem Prinzip von J. W. Manger eine einwandfreie Wiedergabe der Schallquellenortung ohne ein weiteres Hilfsmittel nur dann möglich, wenn sich der Zuhörer in der Mittelachse des Biegewellenwandlers aufhält.

[0102] In Figur 5 ist das Ergebnis einer gleichen Messung wie in Figur 4 wiedergegeben, hier jedoch mit einem akustischem Umlenkelement, das eine Hälfte des Biegewellenwandlers abdeckt. Auch bei dieser Messung wird das Messmikrofon wieder zuerst in der Mittelachse des Biegewellenwandlers angeordnet und dann jeweils in Schritten von etwa 15° aus dieser Mittelachse heraus entfernt. Figur 5 zeigt als Messergebnis ganz deutlich, dass der Kurvenanstieg unabhängig vom jeweiligen Winkel absolut linear ist.

[0103] Dadurch ist sicher gestellt, dass Änderungen des Druckwertes unverzerrt wiedergegeben werden, dass also in dieser Konfiguration eines Biegenwellenwandlers mit einem hälftig davor gesetzten, akustischen Umlenkelement auch Schallbewegungen aus der ersten Zeitzone des menschlichen Hörens mit der Schallquellenortung korrekt möglich ist. In dieser Konfiguration wird das angestrebte Ideal einer nicht mehr wahrnehmbar verfälschten Wiedergabe der Schallbewegung bei der zeitgenauen Umformung von Schallbewegungen durch mechanisch bewegte Luftmoleküle in Draht gebundene elektrische Signale und wieder zurück in Schallbewegungen durch einen als Lautsprecher bezeichneten Wandler erreicht.

[0104] Die bis hier vorgelegte, vergleichsweise sehr ausführliche Beschreibung der physikalischen Grundlagen und des bisher erreichten Standes der Technik hat gezeigt, dass konventionelle Lautsprechersysteme und die bisher bekannten Mikrofone nur Klänge und Töne übertragen können. Das Ziel dieser Erfindung ist jedoch ein dreidimensionales Hören, bei dem auch die vektoriellen Informationen jedes Schallsignals übertragen werden, so dass der Zuhörer zusätzlich zu den Klängen und Tönen auch deren Ort und deren Art identifizieren kann.

[0105] Dieses Ziel wurde mit den MSW-Biegewellenwandlern für die Umwandlung elektrischer Signale in die Bewegungen von Luftmolekülen fast vollständig erreicht. Erst mit der Verfügbarkeit solcher Schallwandler können die Grenzen der auf bisherigem Stand der Technik bekannten Mikrofone aufgezeigt werden.

[0106] Weithin und in zahlreichen Ausführungsvarianten bekannt sind Mikrofone, die als elektroakustische Wandler die Bewegungsimpulse der sie umgebenden Luft, die durch Geräusche und Töne entstanden sind, in entsprechende elektrische Spannungsimpulse wandeln.

[0107] Es ist unstrittig, dass von allen bekannten Varianten das Prinzip des sog. Kondensatormikrofons die geringsten Verfälschungen bei der Umwandlung des Schalldruckbildes in eine elektrische Spannung bewirkt. Auf aktuellem Stand der Technik besteht ein Kondensatormikrofon aus einer sehr dünnen, flexiblen und elektrisch leitfähigen Membran, die elektrisch isoliert und in sehr geringem Abstand vor einer Metallplatte angebracht ist.

[0108] Die Membranen haben meist nur eine Materialstärke von wenigen Mikrometern, so dass sie auch durch sehr schwache Bewegungsimpulse der Umgebungsluft noch in Bewegung versetzt werden. Zwischen der Membran und der Metallplatte befindet sich eine Luftschicht, die bei jeder Bewegung der Membran komprimiert wird. Damit sich diese Luftschicht nicht verzerrend auf die Bewegung der Membran auswirkt, ist die Metallplatte zumeist mit zahlreichen Bohrungen versehen, durch welche die unter Druck gesetzte Luft strömt und in einen - ebenfalls luftgefüllten Hohlraum hinter der Metallplatte fließt, der im Vergleich zum Luftraum zwischen Membran und Metallplatte sehr groß ist.

[0109] Eine derartige Anordnung wirkt elektrisch wie ein Plattenkondensator mit einem Luft-Dielektrikum. In der Praxis sind Kapazitäten von etwa 20 bis 100 pF typisch. Die Bewegungsimpulse der umgebenden Luft bewegen auch die Membran, wodurch sich der Abstand zwischen der Membran und der Metallpatte und damit auch die Kapazität des Kondensators verändern.

[0110] Um diese Schwankungen der Kapazität in ein elektrisches Spannungssignal umzuwandeln, wird der Kondensator über einen hochohmigen Widerstand mit einer Gleichspannungsquelle wie z.B. einer Batterie verbunden, die ihn auflädt. Wenn ein Bewegungsimpuls der Luft auf die Membran übertragen wird und sie dadurch bewegt, so verändert sich die Kapazität des aufgeladenen Kondensators und es fließt aus der Gleichspannungsquelle ein Stromimpuls über die Kapazität und den Widerstand. Ein dazu proportionaler Spannungsimpuls kann am Widerstand abgegriffen werden und einem Mikrofonverstärker zugeführt werden. Dieser Mikrofonverstärker dient als Impedanzwandler und passt direkt im Mikrofon dessen Impedanz an das Kabel zur Signalübertragung an. Die Signalspannung wird dabei nicht verstärkt.

[0111] Der Widerstandswert muss so hoch gewählt werden, dass bei einer Kapazitätsänderung im Rhythmus der unteren Grenzfrequenz (zum Beispiel 20 Hz) die Ladung noch ausreichend konstant ist, sodass sich die Spannung am Kondensator mit den Schallschwingungen ändert. Es ergeben sich je nach Kapselkapazität Widerstandswerte von bis zu etwa 1 GΩ.

[0112] Ein derartiges Kondensatormikrofon erläutert z.B. die Offenlegungsschrift DE 10 2008 013 395 A1. Darin wird beschrieben, wie die Metaliplatte gegenüber der Membran aus einem Material hergestellt werden kann, das ursprünglich nur als Platine für elektronische Schaltungen gedacht war. Auf einem mechanisch sehr stabilen Trägermaterial, z.B. aus Keramik, ist eine dünne Kupferschicht aufgebracht, die mit geringem Aufwand in die für ein Kondensatormikrofon erforderliche Form gebracht werden kann.

[0113] Ein einziges dieser Mikrofone kann jedoch keinesfalls elektrische Signale für das aufgabengemäße, dreidimensionale Hören liefern. Es ist weithin bekannt, dass für jedes der beiden menschlichen Ohren ein eigenes Signal benötigt wird. Erst aus dem Vergleich der Signale von allen geformten Luftbewegungen in beiden Gehörorganen kann das menschliche Gehirn alle Vektor-Informationen im Schall erkennen.

[0114] Deshalb werden zwei Mikrofone benötigt, die insgesamt zwei elektrische Signale erzeugen. Jedes elektrische Signal wird jeweils einem eigenen Schallwandler zugeführt, insgesamt werden also zwei Schallwandler angesteuert. Derartige Mikrofone sind auch als Stereomikrofone bekannt.

[0115] Ein Stereomikrofon stellt die DE 91 01 371 U vor. Es nennt insgesamt drei Mikrofone, die nebeneinander angeordnet sind und in verschiedene Winkel zueinander gebracht werden können. Wenn die Mikrofone in einem Winkel zueinander ausgerichtet sind, treffen die Schallimpulse nur auf ein Mikrofon frontal auf und auf die anderen seitlich. Da jedes Mikrofon eine Richtcharakteristik hat, unterscheiden sich die beiden Signale deutlich. Dadurch entsteht der Nachteil einer gegenseitigen Verzerrung.

[0116] Wenn alle Mikrofone in die gleiche Richtung weisen, sind die Unterschiede in der Form der empfangenen Signale sehr gering. Ein ganz gravierender Nachteil entsteht jedoch bei Schallwellen, die nicht genau orthogonal auf die beiden Mikrofone auftreffen, sondern schräg zu ihrer Längsachse. Die Mikrofone haben einen Abstand zueinander. Selbst wenn sich die Mikrofone mechanisch berühren, so ist der Abstand im Verhältnis zu derjenigen Laufzeit des Schalls immer noch sehr groß, innerhalb derer das menschliche Gehör ein Schallsignal auf seinen Entstehungsort hin auswertet, also die Laufzeitunterschiede zwischen dem am linken Ohr und dem am rechten Ohr gehörten Schallsignal bewertet.

[0117] Erst durch die Erfassung der Laufzeitunterschiede von ansonsten links und rechts gleichen Signalen kann das menschliche Gehirn die Richtung des empfangenen Signals ableiten - wie zuvor in dieser Anmeldung als sog. "erste Zeitzone der Wahrnehmung eines akustischen Impulses" ausführlich erläutert.

[0118] Deshalb bewirkt der Laufzeitunterschied nach dem Prinzip von DE 91 01 371 wegen des Abstandes der Mikrofone zueinander - eine für die Erfassung der Richtung des Schallsignals dramatische Verfälschung.

[0119] In der in dieser Anmeldeschrift als "zweite Zeitzone der Wahrnehmung eines akustischen Impulses" beschriebenen Phase, in der die Art des Schallsignals bewertet wird, wertet das menschliche Gehör auch Pegelunterschiede zwischen dem linken und dem rechten Ohr aus.

[0120] Diese Phase des menschlichen "Hörens" wird bei der Anordnung von zwei Mikrofonen nach dem Prinzip der DE 91 01 371 dramatisch verfälscht, wenn sich die beiden Mikrofone nicht exakt gleichen und wenn sie nicht exakt in die gleiche Richtung ausgerichtet sind. Wenn überhaupt, dann ist auch schon eine Annäherung an diese Forderung sehr aufwendig und das Ergebnis trotzdem diesbezüglich nie perfekt.

[0121] Um dieses Problem wenigstens etwas zu entschärfen sind auf aktuellem Stand der Technik sog. Koinzidenzmikrofone bekannt, bei dem zwei Richtmikrofonkapseln sehr dicht beieinander in einem gemeinsamen Mikrofongehäuse angeordnet sind. Die beiden Mikrofonkapseln sind in ihrer Bezugsachse im Achsenwinkel gegeneinander verdrehbar und haben meistens veränderbare Richtcharakteristiken.

[0122] Dabei wird als prinzipieller Nachteil hingenommen, dass schon im tiefen und im mittleren Frequenzbereich relative Phasendifferenzen (Phasenunterschiede) infolge von Wegdifferenzen bei schrägem Schalleinfall zwischen beiden Mikrofonkanälen auftreten. Bei hohen Frequenzen oder bei einem sehr steilen Anstieg des Schallimpulses ist die Phasendifferenz relativ noch sehr viel größer.

[0123] Deshalb sind derartige Koinzidenzmikrofone nur für reine, monokompatible Intensitätsstereofonie verwendbar, die bei der elektrischen Addition der beiden Stereosignale zu einem Monosignal Auslöschungen oder Beeinträchtigungen von Frequenzteilen vermeidet.

[0124] Aus der FR2 688 644A1 sind bereits Mikrofone bekannt, die Membrane als Elektroden aufweisen und denen eine Gegenelektrode zugeordnet ist, die in eine linke als auch eine rechte Metallplatte aufgeteilt ist, die voneinander isoliert sind und die jeweils einen eigenen elektrischen Anschluss aufweisen. Die Verarbeitung der Signale macht es unmöglich, dieses Mikrofon als Stereomikrofon einzusetzen.

[0125] Auf diesem Hintergrund hat sich die Erfindung die Aufgabe gestellt, ein Stereomikrofon zu entwickeln, dass Bewegungsimpulse und Schallwellen der umgebenden Luft in zwei elektrische Spannungen umwandelt, mit denen - nach angemessener Verstärkung - ein hochwertiger Lautsprecher - wie z.B. der Biegewellenwandler nach dem Prinzip von J.W. Manger - angesteuert werden kann und daraufhin der Umgebungsluft Bewegungsimpulse verleiht, die nicht nur als Musik und Töne empfundene Schallwellen erzeugen, sondern auch Luftbewegungen generieren, mit Hilfe derer das menschliche Gehör die Quelle der Bewegungsimpulse im dreidimensionalen Raum lokalisieren kann und die Art des Schallsignals schon zu Beginn des Einschwingvorganges beurteilen kann.

[0126] Das Ziel der Erfindung ist also ein Stereomikrofon, das Bewegungsimpulse seiner Umgebungsluft in elektrische Spannungen umsetzt, mit denen wiederum ein anderer, elektrischer Wandler so angesteuert wird, dass die von ihm erzeugten Luftbewegungen identisch zu denjenigen Luftbewegungen sind, die das erfindungsgemäße Stereospaltmikrofon bei der Aufnahme aktiviert haben. Es ist also ein wesentlicher Teil der Aufgabe der Erfindung, ein dreidimensionales räumliches Hören zu ermöglichen.

[0127] Als Lösung lehrt die Erfindung, dass die Metall-

platte durch einen Spalt in eine linke Metallplatte als linke Gegenelektrode und eine rechte Metallplatte als rechte Gegenelektrode aufgeteilt ist, die elektrisch voneinander isoliert sind und je einen eigenen elektrischen Anschluss aufweisen.

[0128] Damit spalten sich die mechanischen Formbewegungen mittels Isomikrospalt in zwei elektrische Formbewegungen und damit in das gewünschte formgenaue und interferenzfreie 3D-Stereoformat.

[0129] Mit einem solchen, erfindungsgemäßen Mikrofon ist es möglich, diejenigen elektrischen Signale bereit zu stellen, mit denen zwei hochwertige Lautsprecher nicht nur Musik und Töne korrekt wiedergeben können, sondern dem menschlichen Ohr zusätzlich diejenigen Informationen bereit stellen, die es zu einer Lokalisierung der Quelle des Geräusches oder des Tones benötigt.

[0130] Das erfindungsgemäße 3D-Stereospaltmikrofon schließt so die Kette in der vollständigen Übertragung, Speicherung und anschließenden Wiedergabe von Geräuschen und Tönen. Wie eingangs ausführlich erläutert, nimmt das erfindungsgemäße Mikrofon auch die extrem schnellen Formänderungen auf, die das menschliche Gehör zur Erfassung des vektoriellen Charakters von Geräuschen und Tönen benötigt.

[0131] Das Ergebnis ist nicht nur eine Information an den Hörer z.B. eines Orchesters, auf welcher Seite des Podiums die Pauken aufgestellt worden sind und in welchem Punkt der Bühne die Blechbläser gestanden haben, sondern auch über die Details der Schallinformationen zu Beginn eines Tones und beim Wechsel von einem Ton zu einem anderen. Nur zu Beginn eines Schallimpulses - nämlich in den ersten etwa 60 Mikrosekunden - wertet das Hörzentrum des Gehirns die empfangenen Informationen in Bezug auf die räumliche Ausrichtung der Schallbewegung aus. Nur in dieser Zeitspanne kann das Gehör den vektoriellen Charakter eines Schallbildes erfassen. Das aufgabengemäße dreidimensionale Hören wird erst mit einem erfindungsgemäßen Mikrofon möglich.

[0132] Wesentlich ist, dass ein erfindungsgemäßes Mikrofon diese aperiodischen, räumlichen Informationen aufnimmt und elektrisch wiedergibt, die auch am Beginn einer jeden neuen periodischen Schwingung stehen, also laufend und immer wieder ein wesentlicher Teil des Klangbildes sind. Durch die Erfassung dieses "dreidimensionalen Teils" ermöglicht ein erfindungsgemäßes Mikrofon die vollständige Aufnahme und Umwandlung eines kompletten Klangbildes.

[0133] Diese laufenden kleinen und sehr schnellen Änderungen eines jeden Tones - bestehend aus seinem Grundton und seinen Oberwellen - bestimmen, was oft auch als "Klangfarbe" oder "Charakter" bezeichnet wird. Nur aufgrund dieser Merkmale ist es möglich, den Klang z.B. einer Stradivari von einer anderen gewöhnlichen Geige zu unterscheiden.

[0134] Diese Eigenschaften des erfindungsgemäßen 3D-Spaltmikrofons beruhen auf dem wesentlichen Merkmal der Erfindung, nämlich dass die Metallplatte eines an sich bekannten Kondensatormikrofons durch einen Spalt in eine linke Metallplatte und eine rechte Metallplatte aufgeteilt ist. Beide Metallplatten sind elektrisch von einander isoliert, damit von jeder Metallplatte ein eigenes, elektrisches Signal zur Ansteuerung des jeweiligen Lautsprechers für die linke und für die rechte Seite abgegriffen werden kann. Beide Metallplatten haben jedoch die eine einzige Membran gemeinsam. Dadurch entstehen zwei Mikrofone, die einen bisher nicht für möglich gehaltenen, winzigen Abstand zueinander aufweisen und deren sonstige Unterschiede zueinander im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik dramatisch reduziert sind.

[0135] Der ganz entscheidende und wesentliche Effekt der Erfindung ist, dass durch den Spalt die beiden Metallplatten und damit die beiden, direkt nebeneinander angeordneten Mikrofone auch geringste Unterschiede in der Laufzeit des Schalls bereits unterschieden und erfasst werden können. Genauso wie beim menschlichen Ohr empfangen die beiden Metallplatten genau frontal auf sie auftreffende Bewegungsimpulse ohne jeden Laufzeitunterschied - also exakt gleichzeitig.

[0136] Wegen der in der Praxis vernachlässigbaren Unterschiede zwischen den beiden Mikrofonen sind bei genau senkrecht auftreffenden Schallimpulsen die von einem erfindungsgemäßen 3D Spaltmikrofone erzeugten beiden Signale genau identisch. Bei schräg auftreffenden Schallimpulsen sind die Unterschiede in der Laufzeit und im Pegel exakt erfassbar.

[0137] Die Informationen über Herkunftsort und Art sind in den ersten 30 Millisekunden eines jeden Schallsignals enthalten, unabhängig davon, ob es ein Geräusch oder ein sich ändernder Ton ist. Im Unterscheid zum bisher bekannten Stand der Technik sind diese Informationen auch in den ersten 30 Millisekunden der beiden, vom erfindungsgemäßen 3D-Stereo-Mikrofon abgegebenen, elektrischen Signale enthalten. Je kleiner der Spalt zwischen den beiden Metallplatten ist, desto geringer sind auch die Laufzeitunterschiede für Schallwellen, die nicht genau orthogonal auf die Oberfläche der beiden Metallplatten der linken und der rechten Membranhälfte auftreffen.

[0138] Deshalb ist es von Vorteil, dass die Breite des Spaltes so klein wie nur möglich ist. Damit jedoch über diesen kleinen Spalt hinweg keine elektrischen Überschläge zwischen den beiden Metallplatten erfolgen, schlägt die Erfindung als eine Ausführungsvariante vor, dass der Spalt zwischen den beiden Metallplatten durch einen elektrischen Isolator vollständig ausgefüllt wird. Dabei sollte der Werkstoff dieses Isolators eine möglichst hohe Spannungsfestigkeit haben, aber die Kapazität zwischen den beiden Kanten der Metallplatten möglichst nicht vergrößern, d.h. also keine hohe Dielektrizitätskonstante aufweisen, die die insgesamt wirksame, parasitäre Kapazität erhöht.

[0139] In der Praxis beträgt die Kapazität jeder einzelnen Hälfte der Mikrofonkapsel etwa 25 - 30 Picofarad. Dem gegenüber hat die parasitäre Kapazität zwischen

den beiden Stirnkanten eine Größenordnung von 3-4 Picofarad, also etwa ein Zehntel der Kapazität der eigentlichen beiden Mikrofonkapseln.

[0140] Dieser Wert verursacht ein derart geringes "Übersprechen" zwischen den beiden Kanälen des erfindungsgemäßen 3D-Stereomikrofons, dass es in der Praxis keine Rolle spielt. Deshalb kann mit dem erfindungsgemäßen Mikrofon erstmals erreicht werden, dass das elektrische Signal nicht nur die Grundinformationen über die Bewegungsimpulse der umgebenden Luft enthält, sondern auch all diejenigen Informationen beim Einschwingen eines Tones, die das menschliche Gehör braucht, um auch die Richtung und damit den Ort sowie die Art des Schallsignals schnell und präzise bestimmen zu können.

[0141] Damit das mit möglichst hoher Güte möglich ist, ist eine geringe Breite des Spaltes sinnvoll. In einer ersten Ausführungsvariante schlägt die Erfindung eine Spaltbreite von 100 Mikrometer vor. Für noch höherwertigere, erfindungsgemäße Mikrofone wird die Breite des Spaltes auf einen Wert zwischen 40 Mikrometer und 10 Mikrometer eingegrenzt.

[0142] Eine weitere, hilfreiche Verfeinerung ist, dass der Spalt das Profil eines Kegelstumpfes hat, also an der zur Membran weisenden Seite der beiden Metallplatten deutlich schmäler ist als an ihrer gegenüberliegenden Seite.

[0143] Ein erfindungsgemäßes 3D-Stereospaltmikrofon ist in der einfachsten Ausführungsform als ein Druckempfänger aufgebaut, der nur eine große Öffnung aufweist, die mit einer Membran abgedeckt ist. Damit wird ein etwa kugelförmiges Richtdiagramm erreicht. Nur für hohe und höchste Frequenzen weist das Richtdiagramm eine Vorzugsrichtung auf, weshalb es auf die Schallquelle ausgerichtet wird.

[0144] In einer Ausführungsvariante weist ein erfindungsgemäßes 3D-Stereospaltmikrofon auch zwei Öffnungen in seinem Hohlkörper auf, die jeweils mit einer eigenen Membran verschlossen sind. Eine derartige Mikrofonkapsel wird als sog. "Druckgradientenempfänger" eingesetzt. Das ist an der Außenseite des Mikrofons daran erkennbar, dass zu beiden Seiten der Mikrofonkapsel Öffnungen für den Eintritt und den Austritt von Luft vorhanden sind. Dadurch werden Schallreflektionen, die z.B. in Innenräumen zusätzlich auf das Mikrofon einwirken, ausgeblendet, da nur die Differenz der von der einen Seite eintreffenden Druckwelle zu der von der anderen Seite auftreffenden - reflektierten - Welle erfasst wird. Deshalb hat ein Druckgradientenempänger grundsätzlich eine Richtcharakteristik.

[0145] Eine erfindungsgemäße Mikrofonkapsel kann natürlich auch in allen anderen bekannten und noch zu präsentierenden Bauformen eines Kondensatormikrofons eingesetzt werden.

[0146] In weiteren Ausführungsvarianten wird die Mikrofonkapsel von Kugeln, Trennscheiben, Kugelplatten, anderen Platten, Abhängevorrichtungen für Grenzflächen, Flächenkörpern, Formkörpern, Kugelkörpern, Richtkörpern wie Niere, Superniere oder Hyperniere, Trennkörpern, Richtrohrkörpern, Miniaturkörpern und/oder anderen, auf aktuellem Stand der Technik bekannten zusätzlichen mechanischen Elementen oder körperlichen Formen umgeben. Am äußeren Erscheinungsbild eines erfindungsgemäßen Mikrofons sind also seine kennzeichnenden Merkmale deshalb nicht ohne weiteres direkt erkennbar, sondern zumeist erst nach Zerstörung des Mikrofons selbst.

[0147] Als eine weitere Ausführungsvariante können die beiden Metallplatten der ansonsten getrennten, beiden Mikrofonkapseln auf einem gemeinsamen Träger befestigt werden. Dadurch werden eine erhöhte mechanische Stabilität und eine erhöhte Genauigkeit für die Einstellung des Spaltes zwischen den beiden Metallplatten erreicht. Damit steigt auch die Genauigkeit des Anteiles vom elektrischen Signal, welches nach der Rückwandlung in Schallbewegungen der Luft dem menschlichen Gehör die Lokalisierung ermöglicht, also den dreidimensionalen Anteil des Hörens ausmacht. Durch ein naturgetreues "in-Form-machen" steigt also der Informationsgehalt des Schallsignals.

[0148] Als eine weitere Verbesserung schlägt die Erfindung vor, dass eine Trennwand an den Isolator im Spalt und/oder an die linke Metallplatte und/oder an die rechte Metallplatte nahe dem Spalt angrenzt sowie sich an die Mikrofonkapsel anschließt. Damit wird eine vollständige Trennung des Hohlraumes hinter den beiden Metallplatten erreicht. Die Erfindung empfiehlt, die beiden Kammern sogar Luftdicht voneinander abzugrenzen, weil dadurch jegliches Übersprechen von der "Rückseite" der Metallplatten her vermieden wird.

[0149] Dann sollte jede dieser beiden Kammern über eine kleine Bohrung mit der Außenatmosphäre verbunden werden, damit die Luft in den Kammern die Membran nicht wie eine Feder belastet und damit Luftdruckänderungen die Kammern nicht wie die Dose eines Barometers zusammendrücken oder aufblähen.

[0150] Im allgemeinsten Fall können die Metallplatten und die Membrane in einem beliebigen Winkel zueinander ausgerichtet sein. Die Erfindung bevorzugt jedoch, dass die beiden Metallplatten parallel zur Membrane ausgerichtet sind, weil dann die Fehler bei der Umwandlung des Schalldruckes in elektrische Spannungen am geringsten sind.

[0151] Eine bevorzugte Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen 3D-Spaltmikrofones weist eine Membrane mit einer extrem niedrigen Biegefestigkeit auf. Der Vorteil ist, dass die auftreffenden Schallbewegungen mit abnehmender Biegefestigkeit der Membrane immer weniger verzerrt werden. Deshalb wird für die Membrane in der Praxis eine Goldfolie mit einer Stärke von wenigen Mikrometern eine bevorzugte Variante sein.

[0152] Die Form des als Mikrofonkapsel dienenden Hohlkörpers ist prinzipiell beliebig. Für ein gutes Übertragungsverhalten bei allen Frequenzen und bei allen Steilheiten eines Impulses sind jedoch regelmäßige Formen vorteilhaft. Die Erfindung bevorzugt, dass die Mi-

krofonkapsel als Hohlzylinder geformt ist, dessen untere Stirnseite verschlossen ist und dessen obere Stirnseite die Öffnung ist, die von der Membrane verschlossen ist und der Querschnitt des Hohlzylinders ein Kreis ist. Da die Metallplatte gegenüber der Membrane jedoch durch einen Spalt halbiert ist, kann es unter Umständen auch sinnvoll sein, die Flächen beider Metallplatten zu einem Oval oder zu einer Ellipse zu formen.

[0153] Bei jeder Form der Mikrofonkapsel ist es von Vorteil, wenn der Spalt durch den geometrischen Mittelpunkt der Mikrofonkapsel verläuft. Damit ist der Spalt im Bereich der geringsten Biegefestigkeit der Membrane angeordnet. Dadurch kann das erfindungsgemäße Mikrofon auch noch sehr geringe Laufzeitunterschiede zwischen zwei Schallbewegungen erfassen.

[0154] Die Form des Spaltes ist im allgemeinsten Fall beliebig. Ein grader Spalt reduziert die parasitären Kapazitäten zwischen den beiden Metallplatten auf das geringste mögliche Maß.

[0155] Zwecks Erfassung auch kleinster Laufzeitunterschiede zwischen den beiden Mikrofonen des erfindungsgemäßen 3D-Spaltmikrofons ist ein möglichst kleiner Spalt zu bevorzugen, der über die gesamte Länge hinweg die gleichen Abmessungen hat. Die Reduzierung der parasitären Kapazität zwischen den beiden benachbarten Metallplatten kann jedoch die Begründung dafür sein, den Spalt nach außen hin zu verbreitern und ihm z.B. die Form einer Parabel zu geben.

[0156] Zum elektrischen Anschluss eines erfindungsgemäßen 3D-Spaltmikrofons wird vorzugsweise zwischen dem elektrischen Anschluss der Membrane und dem jeweiligen elektrischen Anschluss der linken Metallplatte und der rechten Metallplatte in Reihe je eine elektrische Energiequelle wie z.B. eine Batterie und je ein Belastungswiderstand angeschlossen und an jedem Belastungswiderstand ein elektrisches Signal abgegriffen, das erst einem Impedanzwandler und dann einem Mikrofonverstärker zugeführt wird.

[0157] Ein erfindungsgemäßes 3D-Spaltmikrofon kann in einer einfacheren Ausführungsform auch als Elektretmikrofon hergestellt werden. Der Vorteil eines Elektretmikrofons gegenüber dem Kondensatormikrofon ist, dass es statt einer externen Versorgungsspannung eine dauerhafte elektrostatische Polarisierung durch eine Elektretfolie als Kondensatorvorspannung nutzt.

[0158] Auf die der Membran gegenüberliegenden Metallplatten ist jeweils eine Elektretfolie aufgebracht, die für die Membranvorspannung sorgt. Beim "Back-Elektretmikrofon" ist das Elektret feststehend und die Membran ist eine metallbedampfte, leichtere Folie. Die Größe der Mikrofonkapsel liegt meistens zwischen zwei Millimetern und einem Zentimeter. Der Frequenzgang kann in der Praxis bei einer Ausführung als Druckempfänger - also einem Mikrofon mit Kugelcharakteristik - von 20 Hz bis 20 kHz reichen. Da wegen des Elektrets keine hohe Vorspannung für die Membran benötigt wird, reicht in der Praxis eine Spannung von etwa 1,5 V zur Versorgung des Impedanzwandlers aus.

[0159] In einer weiteren, sehr interessanten Variante ist ein erfindungsgemäßes 3D-Stereospaltmikrofon in ein Hörgerät integriert. Hier könnte es dramatische Erleichterungen insbesondere für ältere Menschen schaffen, bei denen oft eine Alterung des Gleichgewichtsorganes sowieso schon Orientierungsschwierigkeiten generiert. Für die Funktion als Hörgerät ist es eine sehr interessante Ausführungsvariante, dass ein erfindungsgemäßes 3D-Spaltmikrofon z. B. in der Vorderseite eines Brille integriert ist und damit ein genau gerichtetes Hören ermöglicht, also auch dem Hörbehinderten wieder ermöglicht, sich akustisch im Raum zu orientieren.

[0160] Eine weitere sehr interessante Anwendung eines erfindungsgemäßen 3D-Spaltmikrofons ist ein Vektormikrofon, das Schallschnelle und Schalldruck aufnimmt. Damit ist die Erfassung der Teilchenbewegung und ihrer Intensität möglich.

[0161] Im Folgenden sollen weitere Einzelheiten und Merkmale der Erfindung anhand von Beispielen näher erläutert werden. Diese sollen die Erfindung jedoch nicht einschränken, sondern nur erläutern. Es zeigt in schematischer Darstellung:

Fig.1: Zeitlicher Verlauf des Luftdrucks an einem Messort, wenn im Abstand davon sprungartig eine dynamische Druckänderung erzeugt wird gemäß dem aktuellen Stand der Technik.

Fig. 2: verschiedene zeitliche Druckverläufe bei Anwendung von Lautsprechern mit herkömmlichen, elektrodynamischen Schallwandlern gemäß dem aktuellen Stand der Technik.

Fig. 3: einen Kurvenverlauf analog zur Fig. 2, jedoch bei Anwendung eines Lautsprechers mit einem Biegewellenwandler gemäß dem aktuellen Stand der Technik.

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 gemäß dem aktuellen Stand der Technik.

Fig. 5: Kurvenverläufe analog zu Fig.4, jedoch bei der hälftigen Abdeckung des Biegewellenwandlers mit einem akustisch undurchlässigen Umlenkelement gemäß dem aktuellen Stand der Technik.

Fig.6: Schnitt durch ein erfindungsgemäßes 3D-Stereomikrofon

[0162] In **Figur 6** ist der Schnitt durch ein erfindungsgemäßes 3D-Stereomikrofon gezeigt. Das hier dargestellte Ausführungsbeispiel besteht aus einer hohlzylindrischen Mikrofonkapsel 1, deren Unterseite durch eine angeformte Ebene verschlossen ist. Die Mikrofonkapsel

1 weist an ihrer Oberseite die Öffnung 11 auf, die in diesem Ausführungsbeispiel von zwei umlaufenden Auskragungen umrandet wird.

[0163] Auf der unteren Auskragung in der Öffnung 11 ist die Metallplatte 3 gelagert, die die Gegenelektrode zu der Membrane 2 als erster Elektrode ist. In Figur 6 ist das wesentliche Element der Erfindung sehr deutlich und auf den allerersten Blick zu erkennen, nämlich die Aufteilung der Metallplatte 3 durch den Spalt 4 in die Metallplatte links 3L und die Metallplatte rechts 3R. Der Übersichtlichkeit halber ist der Spalt 4 in Figur 6 relativ sehr groß dargestellt, obwohl er in der Praxis mit einer Breite von typischerweise 10 - 40 Mikrometern so schmal ist, dass er bei einer maßstäblichen Darstellung in Figur 6 nur noch als ein Strich zu identifizieren wäre.

Am obersten Rand der Öffnung 11 läuft die zweite Auskragung der Mikrofonkapsel 1 um, auf welcher die Membran 2 isoliert befestigt ist. Im Schnitt ist gut zu erkennen, dass die Membran 2 parallel zu den beiden Metallplatten 3L und 3R verläuft. Sehr gut zu erkennen ist auch, dass die Membrane 2 als erste Elektrode und die Metallplatte links 3L als linke Gegenelektrode und die Metallplatte rechts 3R als rechte Gegenelektroden jeweils zusammen mit einem Teil der Membran 2 einen Plattenkondensator bilden. Das Dielektrikum dieser beiden Plattenkondensatoren, also das Material zwischen der ersten Elektrode und der jeweiligen Gegenelektrode ist bei einem erfindungsgemäßen 3D-Stereospaltmikrofon Luft.

[0164] Die Funktion eines erfindungsgemäßen 3D-Stereospaltmikrofones ist in Figur 6 sehr gut nachzuvollziehen. Wenn eine Schallbewegung für eine Bewegung der Luftmoleküle sorgt und sich diese Bewegung von Luftmolekül zu Luftmolekül fortpflanzt, so wird sie nach dem Ende der Laufzeit der Schallbewegung auf einen Punkt der Membran 2 eintreffen und diesen verformen. Je nach dem, ob sie im linken Bereich der Membran 2 oder im rechten Bereich der Membran 2 eintrifft, sorgt sie für eine "Einbeulung" der Membran 2. Damit sinkt auch die Kapazität zwischen der Membran 2 als erster Elektrode und den beiden Metallplatten 3L und 3R als Gegenelektrode.

[0165] In Figur 6 ist nicht eingezeichnet, dass diese Änderung der Kapazität elektrisch abgefragt wird, indem zwischen dem elektrischen Anschluss 2E der Membran 2 und dem elektrischen Anschluss 6L der Metallplatte 3L sowie dem elektrischen Anschluss 6R der Metallplatte 3R eine Gleichspannungsquelle mit einem Belastungswiderstand in Reihe geschaltet wird. Jede Änderung der Kapazität zwischen der Membran 2 und einer der beiden Metallplatten 3L oder 3R kann dann am Belastungswiderstand als elektrische Spannung abgegriffen werden.

[0166] In Figur 6 ist der Übersichtlichkeit halber im Spalt 4 kein zusätzlicher Werkstoff als Isolator eingezeichnet.

[0167] Dargestellt ist in Figur 6 die Ausführungsvariante mit einer Trennwand 5, die in der hier dargestellten Ausführungsform luftdicht mit der Mikrofonkapsel 1 verbunden ist, sowie ebenfalls luftdicht mit den jeweiligen Kanten der beiden Metallplatten 3L und 3R. Dadurch entstehen zwei Kammern anstellen einer einzigen Kammer wie bei bekannten Kondensatormikrofonen.

[0168] In Figur 6 ist eingezeichnet, dass die beiden Kammern jeweils durch eine kleine Bohrung mit der Außenluft verbunden sind, um bei Änderungen des atmosphärischen Druckes der Umgebungsluft nicht wie eine Barometerdose zusammengedrückt oder auseinander gebläht zu werden. Diese Bohrung dient ebenfalls zum Entweichen von Luft, die durch ein "Ausbeulen" der Membran 2 ansonsten komprimiert werden würde.

[0169] In Figur 6 ist als eine Variante der Metallplatte links 3L und rechts 3R eine feine Lochung gezeigt. Durch diese Löcher entweicht das kleine Luftpolster zwischen der Membran 2 und den beiden Metallplatten links 3L und rechts 3R.

[0170] In Figur 6 sind die elektrischen Anschlüsse 6L der Metallplatte 3L und 6R der Metallplatte 3R sowie 2E der Membrane 2 nur prinzipiell eingezeichnet.

Bezugszeichenliste

[0171]

1	Mikrofonkapsel
11	Öffnung
2	Membrane
2 E	elektrischer Anschluss der Membran 2
3	Metallplatte
3L	Metallplatte links
3R	Metallplatte rechts
4	Spalt
5	Trennwand
6L	elektrischer Anschluss der Metallplatte 3L
6R	elektrischer Anschluss der Metallplatte 3R

Patentansprüche

1. 3D-Stereospaltmikrofon zum Umwandeln von Schallbewegungen der Umgebungsluft in zwei elektrische Spannungen, bestehend aus

- einer Mikrofonkapsel (1)

  - in der Form eines Hohlkörpers,
  - der eine Öffnung (11) aufweist, die mit einer Membrane (2) als Elektrode abgedeckt ist,

    - die aus einer flexiblen und elektrisch leitfähigen Folie besteht und
    - die elektrisch isoliert befestigt ist und die zu

- wenigstens einer Metallplatte (3) als Gegenelektrode beabstandet ist, die innerhalb der Mikrofonkapsel (1) befestigt ist,

wobei
die Metallplatte (3) durch einen Spalt (4) in eine linke Metallplatte (3L) als linke Gegenelektrode und eine rechte Metallplatte (3R) als rechte Gegenelektrode aufgeteilt ist,
- die elektrisch voneinander isoliert sind und
- je einen eigenen elektrischen Anschluss (6L) und (6R) aufweisen

2. 3D-Stereospaltmikrofon nach Anspruch 1, **wobei** der Hohlkörper eine weitere Öffnung (11) aufweist.

3. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die Mikrofonkapsel (1) von

- Kugeln und/oder
- Trennscheiben und/oder
- Kugelplatten oder anderen Platten und/oder
- Abhängevorrichtungen für Grenzflächen und/oder
- Flächenkörper und/oder
- Formkörper und/oder
- Kugelkörper und/oder
- Richtkörper wie Niere, Superniere oder Hyperniere und/oder
- Trennkörper und/oder
- Richtrohrkörper und/oder
- Miniaturkörper und/oder

anderen, auf aktuellem Stand der Technik bekannten zusätzlichen mechanischen Elementen oder körperlichen Formen umgeben ist.

4. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** zwischen der linken Metallplatte (3L) und der rechten Metallplatte (3R) ein elektrischer Isolator eingebaut ist, der den Spalt (4) zwischen den beiden Metallplatten (3L) und (3R) vollständig ausfüllen kann.

5. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die Breite des Spaltes (4) kleiner als 100 Mikrometer ist.

6. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die Breite des Spaltes (4) kleiner als 40 Mikrometer und größer als 10 Mikrometer ist.

7. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** der Spalt (4) zwischen den beiden Metallplatten (3L) und (3R) nahe der Membrane (2) schmäler ist als an der gegenüberliegenden Seite der Metallplatte (3L) und (3R).

8. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** beide Metallplatten (3L) und (3R) auf einem gemeinsamen Träger befestigt sind

9. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** eine Trennwand (5) an den Isolator im Spalt (4) und/oder an die linke Metallplatte (3L) und/oder an die rechte Metallplatte (3R) nahe dem Spalt (4) angrenzt sowie sich an die Mikrofonkapsel (1) anschließt.

10. 3D-Stereospaltmikrofon nach Anspruch 9, **wobei** der Hohlkörper zwei, in Bezug auf die Trennwand (5) einander gegenüberliegende Öffnungen (11) aufweist.

11. 3D-Stereospaltmikrofon nach Anspruch 9 oder 10, **wobei** die Trennwand (5) an ihren Kanten luftdicht verbunden ist, so dass sie die Mikrofonkapsel (1) in zwei pneumatisch voneinander getrennte Hälften (1 L) und (1 R) aufteilt.

12. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die Metallplatten (3R) und (3L) parallel zur Membrane (2) ausgerichtet sind.

13. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die Membran (2) eine möglichst geringe Biegefestigkeit aufweist.

14. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** die Mikrofonkapsel (1) als Hohlzylinder geformt ist, dessen untere Stirnseite verschlossen ist und dessen obere Stirnseite die Öffnung (11) ist, die von der Membrane (2) verschlossen ist und der Querschnitt des Hohlzylinders

- ein Kreis oder
- ein Oval oder
- eine Ellipse ist.

15. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** der Spalt (4) durch den geometrischen Mittelpunkt der Mikrofonkapsel verläuft.

16. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** zwischen einem elektrischen Anschluss (2E) an die Membrane (2) und die beiden elektrischen Anschlüsse (6L) und (6R) der linken Metallplatte (3L) und der rechten Metallplatte (3R) in Reihe je eine elektrische Energiequelle wie z. B. eine Batterie und je ein Belastungswiderstand angeschlossen sind und an jedem Belastungswiderstand ein elektrisches Signal abgegriffen werden kann, das erst einem Impedanzwandler und dann einem Mikrofonverstärker zugeführt werden kann.

17. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorherge-

henden Ansprüche, **wobei** der Spalt (4) zwischen den beiden Metallplatten (3L) und (3R) gerade verläuft und über die gesamte Länge hinweg das gleiche Profil aufweisen kann.

18. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der Ansprüche 1 - 16, **wobei** der Spalt zwischen den beiden Metallplatten (3L) und (3R) sich nach außen hin vergrößert und zum Beispiel eine parabelförmig geformte Kante aufweist.

19. 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** auf die der Membran (2) gegenüberliegenden Metallplatten (3L) und (3R) jeweils eine Elektretfolie aufgebracht ist, die eine Membranvorspannung bewirkt.

20. 3D-Stereospaltmikrofon nach Anspruch 19, **wobei** die Elektretfolie räumlich feststehend ist und/oder die Membran eine metallbedampfte Folie ist.

21. Verwendung eines 3D-Stereospaltmikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **wobei** es in ein Hörgerät integriert ist.

22. Anwendung eines 3D-Stereospaltmikrofons nach einem der vorhergehenden Ansprüche als Vektormikrofon, **wobei** es Schallschnelle und Schalldruck aufnimmt.

Claims

1. 3D stereo gap microphone for transforming sound movements of the ambient air into two electrical voltages, comprising

- a microphone capsule (1)

  - in the form of a hollow object,
  - which has an orifice (11), which is covered with a diaphragm (2) as electrode,

    - which comprises a flexible and electrically conductive foil, and
    - which is fastened such that it is electrically insulated, and which is spaced from

- at least one metal plate (3) as counter electrode, which is fastened within the microphone capsule (1),

wherein

the metal plate (3) is subdivided by a gap (4) into a left-hand metal plate (3L), as left-hand counter electrode, and a right-hand metal plate (3R) as right-hand counter electrode,

- which are electrically insulated from one another and
- which have in each case an own electrical connection (6L) and (6R)

2. 3D stereo gap microphone according to claim 1, **wherein** the hollow body has a further orifice (11).

3. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the microphone capsule (1) is surrounded by

- spheres and/or
- separating discs and/or
- ball-bearing plates or other plates and/or
- suspension devices for boundary surfaces and/or
- planar bodies and/or
- shaped bodies and/or
- spherical bodies and/or
- polarizing objects such as cardioid, supercardioid or hypercardioid and/or
- separating bodies and/or
- polarizing tubular objects and/or
- miniature objects and/or

other additional mechanical elements or physical forms familiar in the prior art.

4. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** an electrical insulator is installed between the left-hand metal plate (3L) and the right-hand metal plate (3R), which can completely fill the gap (4) between the two metal plates (3L) and (3R).

5. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the width of the gap (4) is smaller than 100 micrometres.

6. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the width of the gap (4) is smaller than 40 micrometres and larger than 10 micrometres.

7. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the gap (4) between the two metal plates (3L) and (3R) close to the diaphragm (2) is narrower than at the opposite side of the metal plate (3L) and (3R).

8. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the metal plates (3L) and (3R) are fastened on a common carrier.

9. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** a separating wall (5) adjoins the insulator in the gap (4) and/or the left-hand metal plate (3L) and/or the right-hand metal plate (3R) close to the gap (4) and is connected to the

microphone capsule (1).

10. 3D stereo gap microphone according to claim 9, **wherein** the hollow body has two orifices (11), which lie opposite one another with respect to the separating wall (5).

11. 3D stereo gap microphone according to claim 9 or 10, **wherein** the separating wall (5) is connected in an airtight manner at its edges such that it subdivides the microphone capsule (1) into two halves (1 L) and (1 R), which are pneumatically separated from one another.

12. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the metal plates (3R) and (3L) are aligned parallel to the diaphragm (2)..

13. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the diaphragm (2) has the least possible flexural strength.

14. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the microphone capsule (1) is formed as a hollow cylinder, of which the lower end face is sealed and of which the upper end face is the orifice (11) that is sealed by the diaphragm (2), and the cross-section of the hollow cylinder is

- a circle or
- an oval or
- an ellipse.

15. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the gap (4) runs through the geometrical centre point of the microphone capsule.

16. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** an electrical energy source, such as a battery, and a load resistor in each case are connected in series between an electrical connection (2E) to the diaphragms (2) and the two electrical connections (6L) and (6R) of the left-hand metal plate (3L) and the right-hand metal plate (3R), and an electrical signal can be picked up at each load resistor, which signal can be fed first to an impedance transformer and then to a microphone amplifier.

17. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** the gap (4) between the two metal plates (3L) and (3R) runs straight and can have the same profile over its entire length.

18. 3D stereo gap microphone according to one of the claims 1-16, **wherein** the gap between the two metal plates (3L) and (3R) enlarges towards the outside and, for example, has a parabolic edge.

19. 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** an electret foil in each case, which effects a diaphragm pretension, is mounted on the metal plates (3L) and (3R) that are opposite the diaphragm (2)..

20. 3D stereo gap microphone according to claim 19, the electret foil being spatially fixed and/or the diaphragm being a foil metallized by vapour deposition..

21. Use of a 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims, **wherein** it is integrated in a hearing aid.

22. Application of a 3D stereo gap microphone according to one of the preceding claims as a vector microphone, **wherein** it picks up sound velocity and sound pressure.

Revendications

1. Microphone stéréo 3D à fente destiné à convertir des mouvements de vibration acoustique de l'air ambiant en deux tensions électriques, consistant en

- une capsule de microphone (1)

  o ayant la forme d'un corps creux,
  o qui présente une ouverture (11) recouverte d'une membrane (2) en tant qu'électrode,

  ■ qui consiste en un film souple et conducteur électrique,
  ■ qui est fixée en étant électriquement isolée, et qui

  o est, en tant que contre-électrode, placée à un certaine distance d'au moins une plaque métallique (3) qui est fixée à l'intérieur de la capsule de microphone (1),
  sachant que
  la plaque métallique (3) est séparée par une fente (4) en une plaque métallique gauche (3L) en tant que contre-électrode gauche, et une plaque métallique droite (3R) en tant que contre-électrode droite,

- qui sont isolées électriquement l'une par rapport à l'autre, et
- présentent chacune un raccordement électrique (6L) et (6R) propre.

2. Microphone stéréo 3D à fente selon la revendication 1, **sachant** que le corps creux présente une autre ouverture (11).

3. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant que** la capsule du microphone (1) est entourée

- de billes et/ou
- de disques de séparation et/ou
- de plaques sphériques ou d'autres plaques et/ou
- de dispositifs d'accrochage pour les surfaces limites et/ou
- des corps de surface et/ou
- des corps formés et/ou
- des corps sphériques et/ou
- des corps dressés tels que des cardioïques, des supercardioïques ou des hypercardioïques et/ou
- des corps de séparation et/ou
- des corps de tubes redresseurs et/ou
- des corps miniatures et/ou

d'autres éléments mécaniques supplémentaires ou formes corporelles supplémentaires connus dans l'état actuel de la technique.

4. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant qu**'entre la plaque métallique gauche (3L) et la plaque métallique droite (3R) est incorporé un isolateur électrique qui peut entièrement remplir la fente (4) entre les deux plaques métalliques gauche (3L) et droite (3R).

5. Microphone stéréo 3D à fente selon la revendication 3, **sachant que** la largeur de la fente (4) est inférieure à 100 micromètres.

6. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant** que la largeur de la fente (4) est inférieure à 40 micromètres et supérieure à 10 micromètres.

7. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant que** la fente entre les deux plaques métalliques (3L) et (3R) près de la membrane (2) est plus mince que le côté situé en face de la plaque métallique (3L) et (3R).

8. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant que** les deux plaques métalliques (3L) et (3R) sont fixées sur un support commun.

9. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant qu**'une paroi de séparation (5) se situe au voisinage l'isolateur dans la fente (4) et/ou de la plaque métallique gauche (3L) et/ou de la plaque métallique droite (3R) à proximité de la fente et se raccorde à la capsule de microphone (1).

10. Microphone stéréo 3D à fente selon la revendication 9, **sachant que** le corps creux présente deux ouvertures (11) situées l'une en face de l'autre par rapport à la paroi de séparation (5).

11. Microphone stéréo 3D à fente selon la revendication 9 ou 10, **sachant que** la paroi de séparation (5) est relié de façon hermétique à l'air sur leurs bords, de façon à ce que la capsule du microphone (1) soit séparée en deux moitiés (1L et (1R) séparées pneumatiquement l'une de l'autre.

12. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant que** les plaques métalliques (3R) et (3L) sont orientées parallèlement à la membrane (2).

13. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant que** la membrane (2) présente une résistance à la flexion aussi faible que possible.

14. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant que** la capsule de microphone (1) a la forme d'un cylindre creux, dont la face frontale inférieure est fermée, la section du cylindre creux étant

- un cercle ou
- un ovale ou
- une ellipse.

15. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant que** la fente (4) court à travers le point géométrique central de la capsule du microphone.

16. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant qu**'entre un raccordement électrique (2E) sur la membrane (2) et les deux raccordements électriques (6L) et (6R) de la plaque métallique gauche (3L) et de la plaque métallique droite (6R) est raccordée en série à chaque fois une source d'énergie comme par exemple une pile et à chaque fois une résistance de charge, un signal électrique qui peut être amené d'abord à un convertisseur d'impédance et ensuite un amplificateur de microphone, pouvant être récupéré sur chaque résistance de charge.

17. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant que** la fente (4) entre les deux plaques métalliques (3L) et (3R) suit un parcours droit et peut présenter le même profil sur toute la longueur.

18. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications 1 - 16, **sachant que** la fente entre les deux

plaques métalliques (3L) et (3R) s'agrandit vers l'extérieur et présente, par exemple, un bord en forme de parabole.

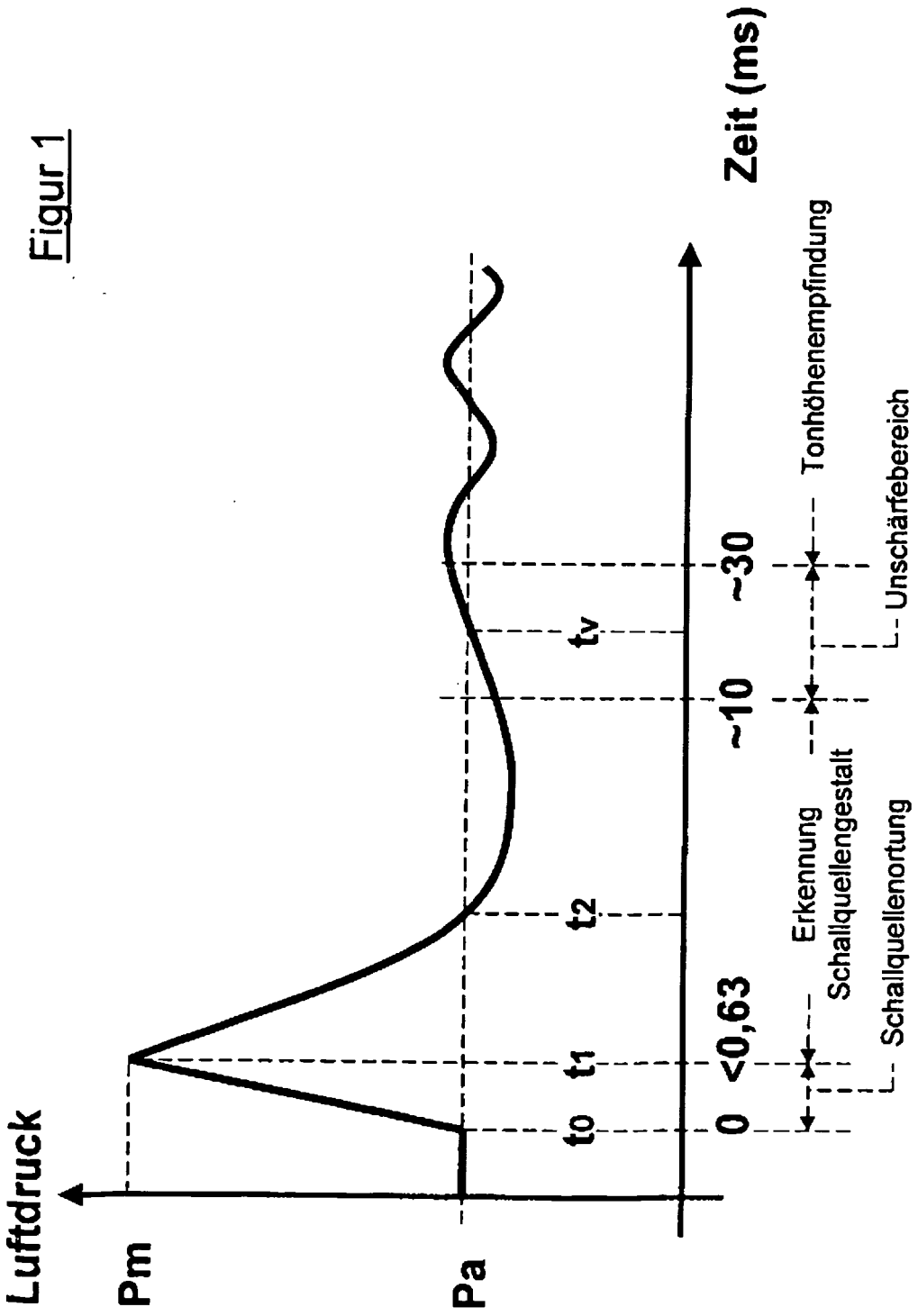
19. Microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant qu**'un film électret, qui provoque une pré-tension de la membrane, est posé sur chacune des plaques métalliques (3L) et (3R) situées en face.

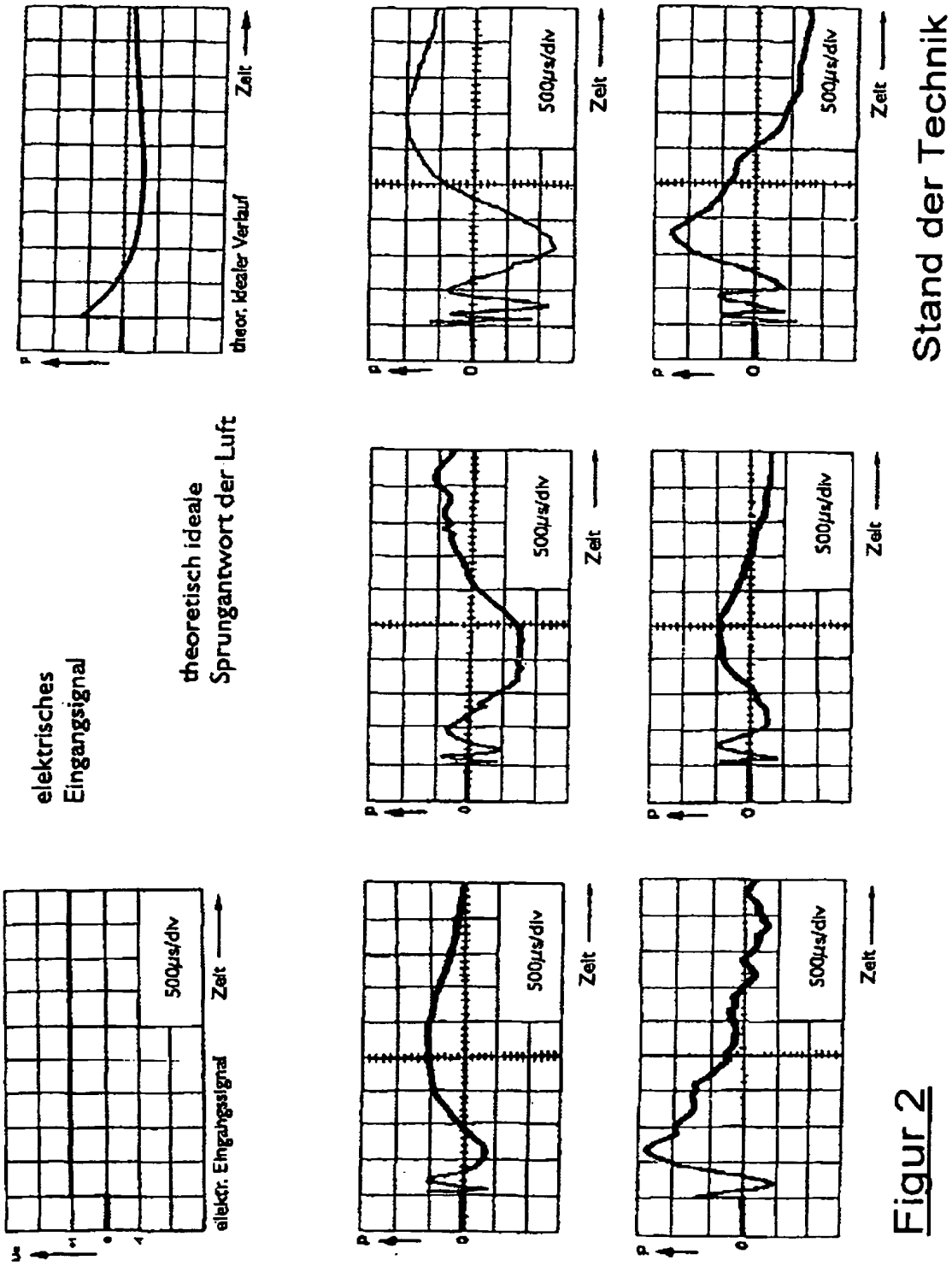
20. Microphone stéréo 3D à fente selon la revendication 19, **sachant que** le film électret est fixe au plan spatial et/ou que la membrane est un film métallisé.

21. Utilisation d'un microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes, **sachant que** celui-ci est intégré dans un appareil auditif.

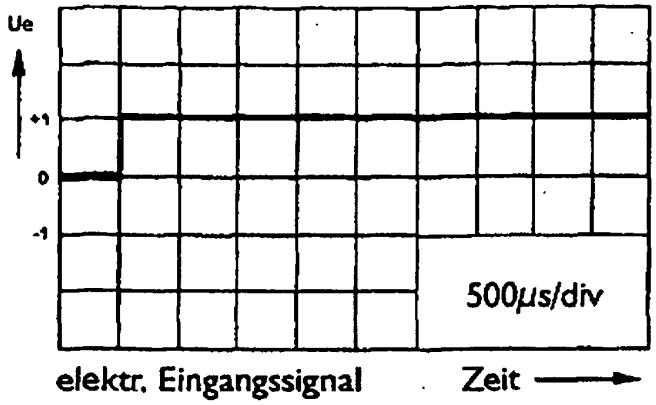
22. Utilisation d'un microphone stéréo 3D à fente selon une des revendications précédentes en tant que microphone vecteur, **sachant que** celui-ci réceptionne la vitesse acoustique et la pression acoustique.

Figur 1

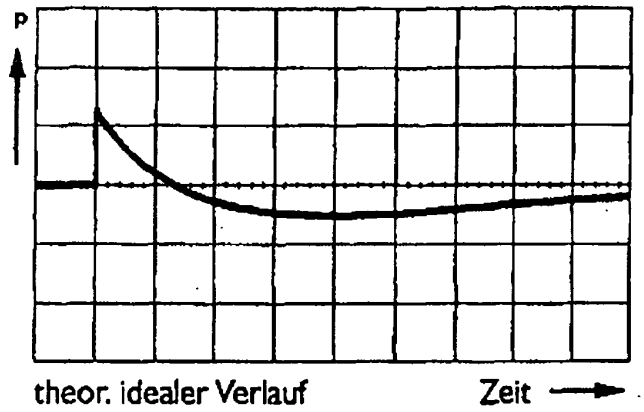

Luftdruck
Pm
Pa
Zeit (ms)
0
<0,63
~10
~30
t0
t1
t2
tv
Erkennung
Schallquellengestalt
Schallquellenortung
Tonhöhenempfindung
Unschärfebereich


elektrisches
Eingangsignal
theoretisch ideale
Sprungantwort der Luft
Stand der Technik
elektr. Eingangssignal
theor. idealer Verlauf
500µs/div
Zeit
P
0

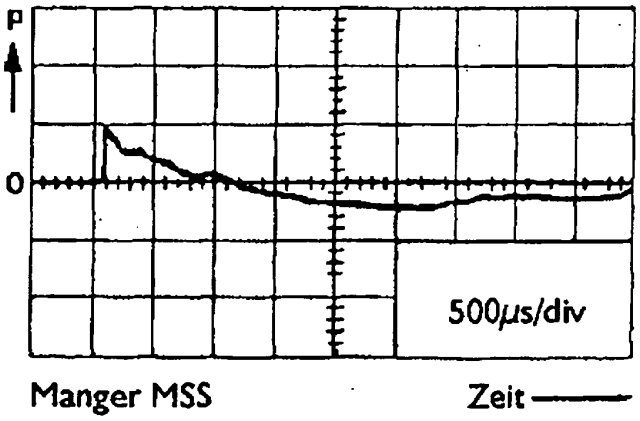
Figur 2



Elektrisches Eingangssignal



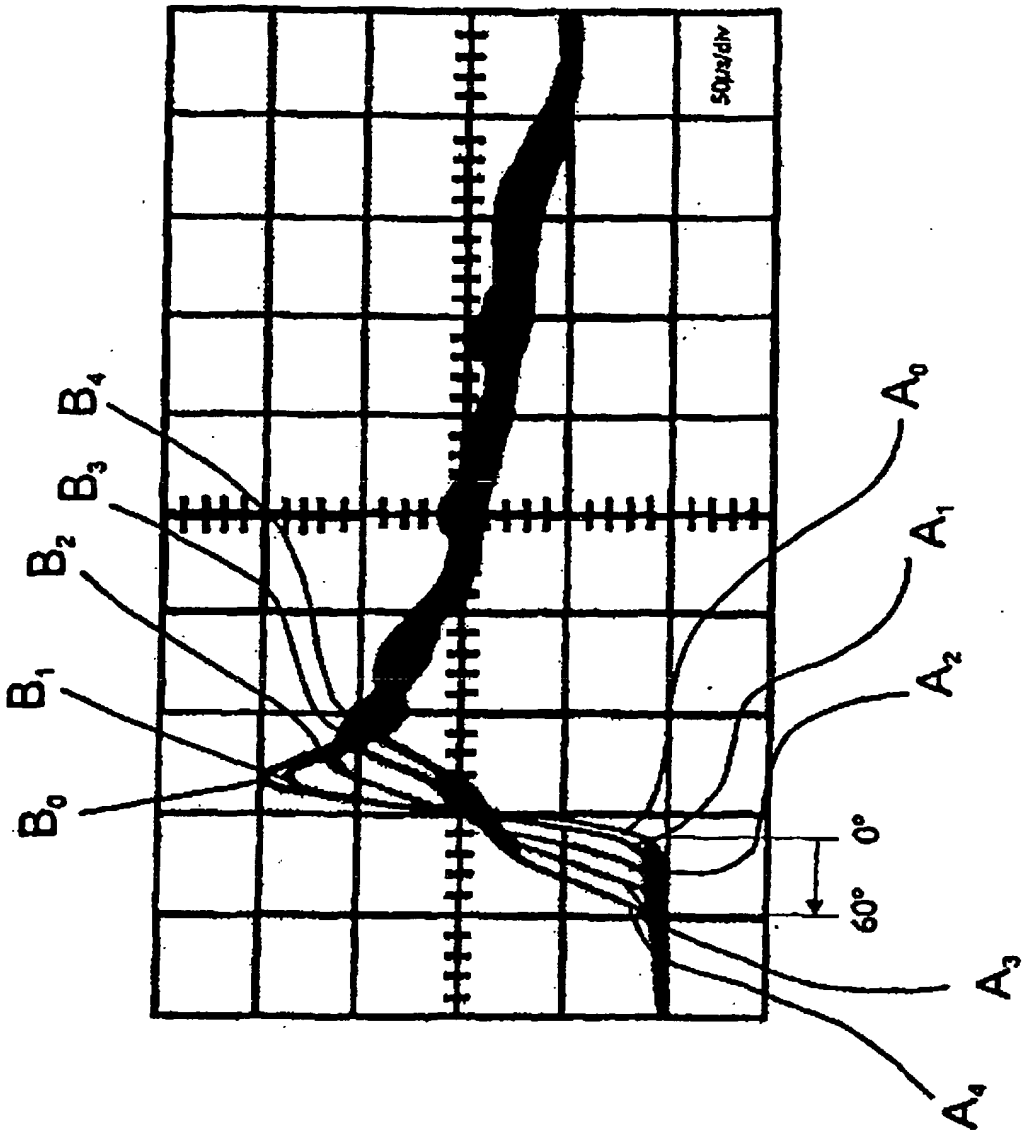
Theoretisch ideale Sprungantwort der Luft



Sprungantwort der Luft bei Anwendung eines Manger-Biegewellenwandlers

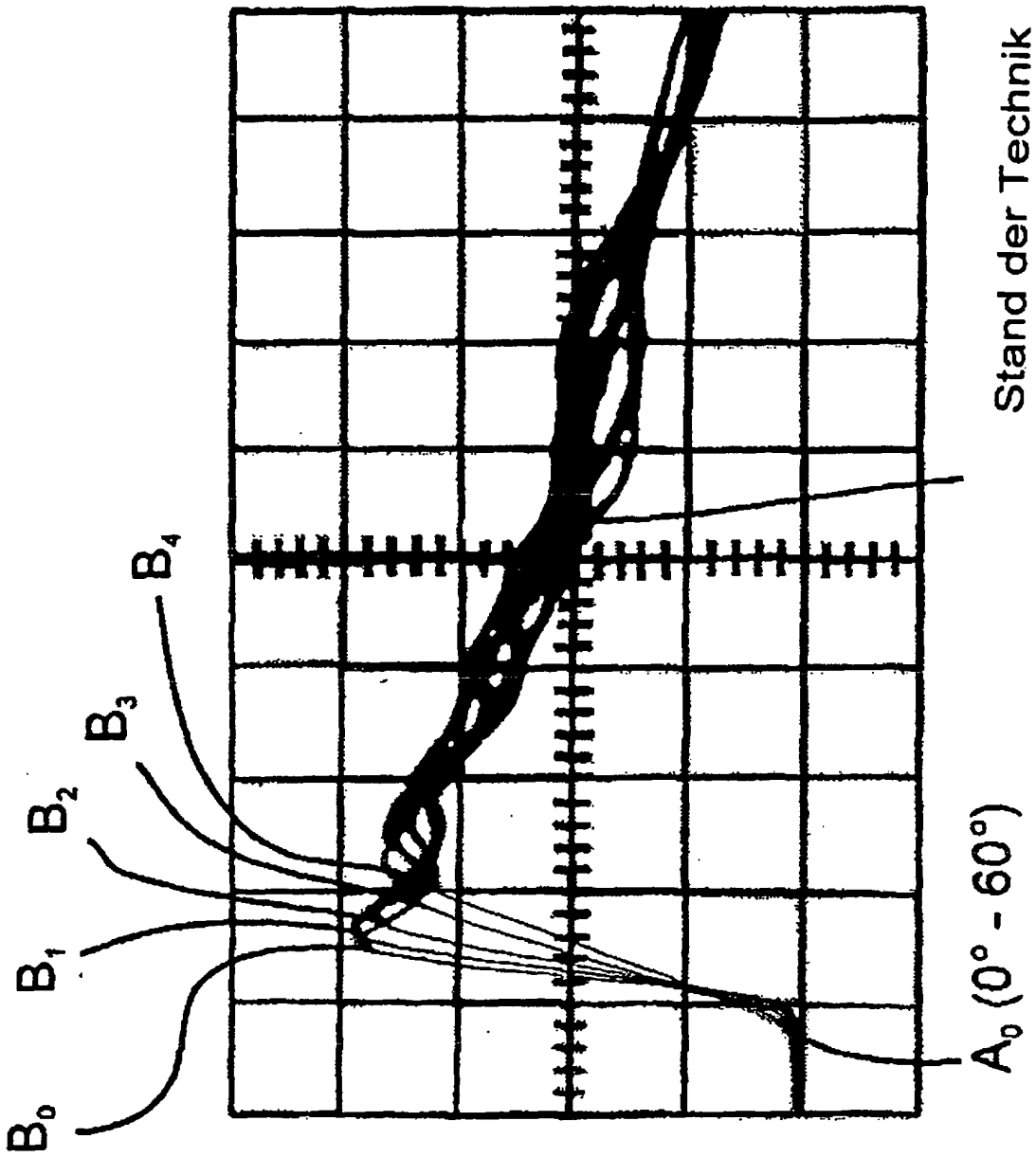
Figur 3

Stand der Technik

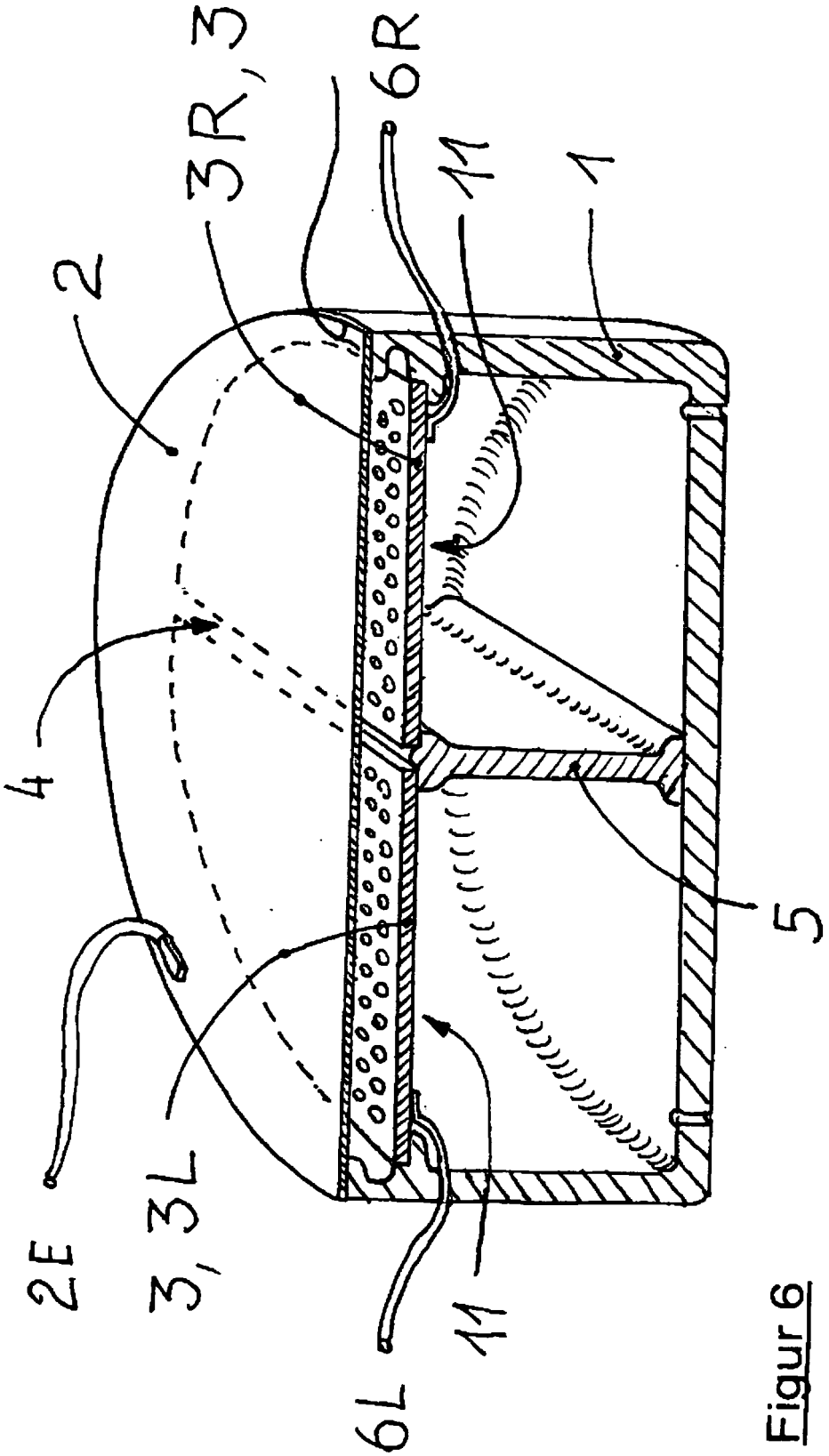


Stand der Technik

Figur 4



Figur 5



Figur 6

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE PS1815694 C **[0090]**
- DE 2236374 C3 **[0090]**
- DE 2500397 A1 **[0090]**
- DE 2725346 C3 **[0090]**
- DE 102008013395 A1 **[0112]**
- DE 9101371 U **[0115]**
- DE 9101371 **[0118] [0120]**
- FR 2688644 A1 **[0124]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **THOMAS SPORER.** Tech. Fakultät Universität Erlangen-Nürnberg-Ilmenau. *Dissertation,* 1998, 8 **[0005]**
- **F. PFANDER.** Das Knalltrauma. Springer, 1975 **[0035]**
- *Das Schalltrauma,* 1994 **[0035]**
- **WOLF D. KEIDEL.** Erlangen, Physiologie des Gehörs. Thieme Verlag, 1975 **[0072]**