



(10) DE 10 2011 011 115 A1 2012.08.16

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2011 011 115.8

(51) Int Cl.: **H04R 5/00 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: 12.02.2011

H04R 5/02 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 16.08.2012

H04R 5/04 (2006.01)**H04S 3/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Kirchhof, Axel, 32130, Enger, DE(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

(72) Erfinder:

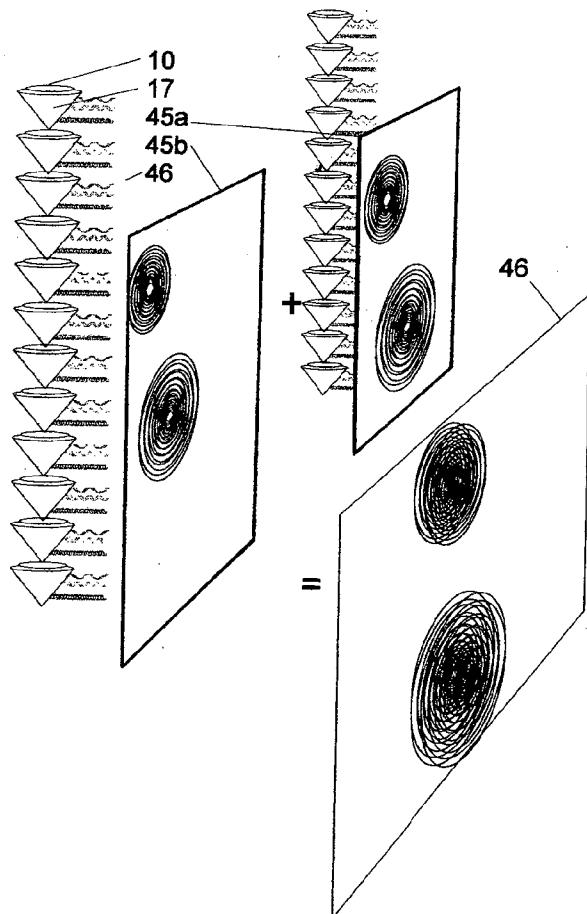
gleich Anmelder**DE 697 34 884 T2**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen(54) Bezeichnung: **Lautsprecheranordnung als Wellenfeldgenerator**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Lautsprecheranordnung als Wellenfeldgenerator zur Erzeugung und Abstrahlung von zeitlich und räumlich verschränkten Wellenfeldern. Der Wellenfeldgenerator ist zusammenge- setzt aus multipel vertikal übereinander gestapelten Inter- ferenzresonatoren, (17) welche kegelförmig sind und einen Lautsprecherchassis (10) auf der stumpfen Seite besitzen. Das Gehäuse des erfindungsgemäßen Interferenzresonators ist vibrierfähig (7) und wird vom beschallenden Inter- ferenzresonator mit Schall beaufschlagt, welcher durch die Interferenzmusterbildung auf dem zu beschallenden Inter- ferenzresonator (35) um 90° abgelenkt wird und dieses Inter- ferenzmuster im Raum 360° vertikal verteilt. Interferenzresonatoren sind gleichzeitig Beschallende und zu Beschallen- de und bilden durch prozessorgesteuerte Rückkopplung des Beschallenden an der auftretenden Gehäuseresonanz des zu Beschallenden ein zeitlich interferierendes Schallwellen- feld, welches bei Stereoaufstellung des Wellenfeldgenera- tors räumlich interferiert.

Der erfindungsgemäße Wellenfeldgenerator ist als Aktiv- Lautsprecher konzipiert, d. h. ein spezieller phasenneutraler Endverstärker (21, 22) wird angesteuert durch zeitoptimierte DSP-Module.



Beschreibung

Angabe des technischen Gebiets

[0001] Die Erfindung betrifft eine Lautsprecheranordnung und ein Verfahren zur Erzeugung holoferner Wellenfelder mit Hilfe von Interferenzmustern. Es können so selbst in kleinsten Räumen spektakuläre musikalische Ereignisse projiziert werden.

Stand der Technik

[0002] Die vorliegende Erfindung hat sich zum Ziel gesetzt, vorhandene systemimmanente Schwachstellen herkömmlicher Lautsprechersysteme zu lösen.

[0003] Bisherige Systeme arbeiten nach dem Schallwandlerprinzip.

[0004] Auch mit teuersten Schallwandlern (200.000 Euro und mehr) ist es nicht möglich, den Originalklang auch nur einer einfachen Blockflöte wiederzugeben. Die Obertöne, die originären Schwingungen, das echte Schallfeld einer Liveperformance zu erzeugen, ist – egal mit welchem Lautsprecher – nur näherungsweise möglich.

[0005] Stereophonie mit Schallwandlern ist immer nur ein Abbild, etwas Künstliches, etwas, was sich vom natürlichen Hören deutlich unterscheidet.

[0006] Stereophonie ist eine Interpretation des natürlichen Hörens, vergleichbar mit einem Foto und dem Motiv selbst.

[0007] Echte Instrumente können nur ähnlich wiedergegeben werden. Entsprechend groß ist die Frustration des Konsumenten beim Vergleich seiner heimischen Stereoanlage mit dem Eindruck eines Live-Konzertes.

[0008] Es gibt keinen einzigen akustischen Wandler, der innerhalb des menschlichen Hörspektrums das ihm zugeführte elektrische Abbild des Schalls in äquivalente Schallwellen wandeln kann. Die elektrischen Eingangssignale werden nicht in die entsprechenden Schallwellen gewandelt.

[0009] Der Stand der Technik ist das Prinzip des Schallwandlers. Der Lautsprecher bekommt ein elektrisches Signal vom Verstärker. Das Chassis wandelt das Signal in Schall um. Es versetzt die Luft in periodische Schwingungen, welche dann das Trommelfell im menschlichen Ohr zum Schwingen bringen.

[0010] Diesem Prinzip des Schall – wandelns unterliegen alle Lautsprecher auf dem Markt. Werner von Siemens hat 1878 ein Patent für den noch heu-

te gebräuchlichen elektrodynamischen Lautsprecher erhalten.

[0011] Unterschiedliche Bauformen dieses Schallwandlerprinzips lösen die Kundenansprüche mit mehr oder weniger Nachteilen der Schallreproduktion.

1. Konventionelle Lautsprecher

[0012] Gängigste Lautsprecher sind die Direktstrahler (Fig. 4). So befinden sich vorn auf einem rechteckigen Gehäuse ein, zwei oder gar mehr Lautsprecherchassis. Mehr oder weniger aufwändig konstruierte Gehäuse sorgen schon im Ansatz dafür, daß Resonanzen oder Interferenzen keine Chance haben.

[0013] Da die verwendeten Lautsprecher unterschiedliche individuelle Frequenz- und Phasenfehler ausweisen, sorgen teure Frequenzweichen dafür, daß die einzelnen Chassis so einigermaßen linear klingen. Direktstrahler sind technisch ausgereift und werden als Quasi-Standard akzeptiert. Direktstrahler sind gut geeignet für Rock und Pop-Musik, weniger geeignet für Klassikaufnahmen, da das Konzertgefühl nicht so aufkommt.

[0014] Hornlautsprecher glänzen mit explosiver Dynamik und sind daher ideal für Rockmusik. Manche Modelle sind verfärbungsfrei. Nachteilig ist teilweise die Wiedergabe von klassischer Musik, da hier lediglich der direkte Schall und damit auch entsprechende Verfärbungen und Klirr horntypisch verstärkt werden.

[0015] Magnetostaten und Elektrostaten sind ideal für Klassik, da sie extrem feinzeichnend und hochauflösend sind. Sie zeichnen sich auch durch schöne Feindynamik aus. Als nachteilig stellt sich mangelnde Bass- und Tiefbassdynamik dar. Auch sind bei großen Modellen, die teilweise 2 x 1 Meter groß sind, die Abbildung eines z. B. Sängers unnatürlich; er kann zu groß dargestellt werden.

[0016] Hervorragende Konstruktionen von z. B. MAGNEPAN (Magnetostaten), QUAD oder MARTIN LOGAN (Elektrostaten) zeugen von nahezu unerreichter Transparenz und natürlicher Klangwiedergabe dank linearer und nahezu verzerrungsfreier Wiedergabe. Gleichzeitig sind QUAD-Elektrostaten, welche schon seit Jahrzehnten gebaut werden, tonale Vorbilder für viele Lautsprecherkonstruktionen.

[0017] Kegelstrahler, omnidirektional oder kugelförmig arbeitende Schallwandler (Fig. 5) sind optimal für Klassik, Rock und Pop. Sie zeichnen sich aus durch eine extrem weitreichende Raumdarstellung. Ein Konzertgefühl kann sich so einfacher einstellen. Nachteilig bei diesem Prinzip ist die mangelnde Ortbarkeit der einzelnen Phantomschallquellen; diese

werden sehr diffus im Raum wiedergegeben. Mangelnde exakte Größenabbildung kommt hinzu.

[0018] Diese Einschränkungen können bei Konstruktionen von z. B. mbl-Lautsprechern (omnidirektional abstrahlende Kugel-Lautsprecher) oder DÜVEL-Lautsprechern mit Sicherheit nicht gemacht werden. Es sind innerhalb ihrer Klasse Spalten-Lautsprecher, welche Konzert-Aufnahmen zu einem echten Erlebnis werden lassen.

[0019] Biegewellenwandler versetzen im Unterschied zu konventionellen Schallwandlern steife und leichte Platten in Erregung. Ziel ist es, Audiowiedergabesysteme unsichtbar in Räumen zu integrieren, z. B. in Form von an der Wand hängenden Bildern. Der Klang hierbei ist von eher sekundärer Bedeutung. Einzelfälle zeigen jedoch eine sehr hohe Qualität: Der zu Recht berühmte Manger-Wandler oder Göbel-Audio-Systeme seien hier nur stellvertretend erwähnt.

[0020] Das Hauptproblem dieser phantomschallquellen-basierten Wiedergabe ist, daß der Schall aus der rechten Box nicht nur das rechte Ohr trifft, sondern z. T. auch das linke. Laufzeitdifferenzen zusammen mit Frequenzbeschränkungen tun ein Übriges: Eine direkte, echte Zuordnung des Schallereignisses im Raum ist mit dieser Methode nicht möglich. Die Ortung der Schallquellen zwischen den Stereolautsprechern verwischt.

[0021] Phantomschallquellen können sich durch die Summenlokalisation als problematisch erweisen. Sie sind in ihrer Lokalisation störanfällig und im Klang verfärbt. Phantomschallquellen haben gegenüber natürlichen Schallquellen einen weniger präzisen Hörort und scheinen weniger präsent zu sein, weil beide Ohren auch bei mittiger Abhörposition ausserhalb der Mitte liegen und somit von den Lautsprechersignalen nacheinander erreicht werden.

Phantomschallquellen – Stereofones Hören

[0022] Barry Wills schrieb in der Augustausgabe der Zeitschrift "AUDIO" von 1994: "Tonale Ausgewogenheit ist alles was wir erwarten können, korrekte räumliche Abbildung ist mit Lautsprechern nicht zu erreichen. Audioprodukte sollten den Disclaimer tragen: "Vorsicht, die Wiedergabe ist nicht lebensecht!"

[0023] Heutige, auf dem Stand der Technik basierende Lautsprechersysteme erzeugen im schalltoten Raum einen fast linealglatten Frequenzgang und extrem wenig Verzerrungen. Dazu sind die Lautsprechergehäuse frei von Resonanzen und Interferenzen, da sie teilweise aus Panzerholz oder aus der Formel 1 bekannten Materialien wie z. B. Kohlefaser gebaut werden.

[0024] Dieses kanalgebundene Lautsprecherverfahren basiert auf der Reproduktion von Phantomschallquellen. Das Hauptproblem dabei: Genau wie eine Zeichnung oder ein Foto zweidimensional bleibt, so bleibt der Ausgangspunkt aller Phantomschallquellen eindimensional auf der Linie zwischen den Lautsprechern.

[0025] Es ist deshalb unrealistisch, von einer phantomschallbasierten Wiedergabe die Tiefenstaffelung zu erwarten, die ein reales Schallfeld hat. Es gibt nur begrenzte Möglichkeiten, unsere Wahrnehmung mit psychoakustischen Mitteln darüber hinwegzutäuschen: Lautstärkeunterschiede einzelner akustischer Ereignisse tricken ein vorne/hinten oder mehr links/mehr rechts vor.

[0026] Der entscheidende Unterschied zur phantomschallquellenbasierten Wiedergabe zum Originalwellenfeld ist, daß die zeitliche und räumliche Staffelung der Wellenfronten im Aufnahmeraum nicht annähernd reproduziert werden kann.

[0027] Bekannte Omnidirektional- oder auch Kegellautsprecher, welche den Schall 360° diffus im Reproduktionsraum verteilen, versuchen mit dem Nachhall eine Räumlichkeit zu simulieren. Dieser vermittelt zwar Informationen zur Raumbeschaffenheit, man kann aber den zweiten oder späteren Reflexionen keinen Ausgangspunkt mehr zuordnen. Deshalb ist das richtungsgemäße Eintreffen dieser Wellenfronten von untergeordneter Bedeutung, sie können ein Raumgefühl vermitteln aber nicht mehr zur Ortung der Quelle beitragen.

[0028] Dazu kommt, daß die ungerichtete Abstrahlung, die bei Einzellautsprechern im Grundton nicht zu vermeiden ist, ein völlig neu strukturiertes Schallfeld erzeugt. Dagegen hilft es nur wenig, den Wiedergaberaum zu bedämpfen. Dann bleibt kaum noch Räumlichkeit übrig, alles was man hört spielt sich auf der horizontalen Linie zwischen den Lautsprechern ab, langweilig, weit entfernt vom Live-Erlebnis.

[0029] Es ist deutlich zu erkennen, daß eine völlig andere Impulsantwort, also auch eine völlig veränderte Wahrnehmung entsteht. Unter solchen Verhältnissen muss man eingestehen, daß die Aussage von Barry Wills korrekt ist. Tonale Ausgeglichenheit scheint wirklich alles zu sein, was man erreichen kann, korrekte räumliche Abbildung ist mit phantomschallquellenbasiertem Lautsprecherwiedergabe nicht möglich. Um im Bilde zu bleiben, für eine überzeugende räumliche Darstellung reicht ein zweidimensionales Foto nicht aus, wir brauchen ein 3D-Bild, ein Hologramm.

Virtuelle Schallquellen –
Wellenfeldsynthese (Stand der Technik)

[0030] Holografische akustische Wiedergabetechniken sind bekannt durch Pat. Nr DE 2005 10 2005 008 366 "Vorrichtung und Verfahren zum Ansteuern einer Wellenfeldsynthese-Renderer-Einrichtung mit Audiobjekten" wobei mittels einer Vielzahl von waagrecht angeordneten Lautsprechern das Schallfeld eines bestimmten Raumes realistisch und dreidimensional nachgebildet werden soll.

[0031] Nachteil dieses Verfahrens ist die hohe Anzahl der benötigten Lautsprecher. Sehr viele Lautsprecher müssen dabei individuell angesteuert werden. Auch ist ein trockener Klang bei vorhandenem Musikmaterial zu bemerken. Auch findet keine optimale "Mischung" von Einzelschallquellen (virtuellen Quellen) zu einem befriedigenden Gesamtklang statt. Bisherige Konzepte für die Aufnahme von großen Klangkörpern führen zu keinem befriedigenden Ergebnis für den Tonmeister. Wellenfeldsynthese setzt voraus, daß das entsprechende Audiomaterial vorher speziell für die Wellenfeldsynthese produziert wurde.

Klangfarbe

[0032] Pierre Boulez hat beobachtet, daß es die Eigenheit der bekannten Lautsprecher ist, den Klang von Musikinstrumenten zu "anonymisieren", d. h., daß alle Lautsprecher gleich klingen würden, trotz erheblicher Anstrengungen der Industrie, den perfekten Lautsprecher zu schaffen, welcher in der Lage ist, auch die Klangfarben so darzustellen, wie sie in der Realität vorkommen.

(P. Boulez, Proc. 11ter internationaler akustischer Kongress, 8, 216, Paris 1983)

[0033] Durch die Transienten werden Naturklänge durch unser Ohr eindeutig identifiziert.

[0034] Das Problem liegt in der Signalverarbeitung: Bisherige Lautsprecher können Transienten, d. h. plötzlich auftretende Schwingungssereignisse, nicht korrekt verarbeiten. Ein Beispiel: Der Anreißvorgang einer Gitarrensaite ist ein transientes Ereignis, das dann fließend in einen Schwingungsvorgang übergeht. Der plötzliche Anreißvorgang kann nicht aus einer endlichen Summe einzelner Grundschwingungen hergeleitet werden, da diesem Ereignis keine korrespondierenden Grundschwingungen vorausging.

[0035] An die elektro-akustische Wiedergabe der Lautsprecher werden sehr hohe Anforderungen gestellt, weil es sich nicht nur um hohe Geschwindigkeiten der Membran, sondern zusätzlich um kurzzeitige, hohe Beschleunigungen bis hin zum Ruck handelt, die mit einem zusätzlichen, unnatürlich störenden Geräusch verbunden sind. Diese plötzlichen,

stark geräuschhaften Einschwingvorgänge lösen Bewegungen der Lautsprechermembran aus, die sich wellenförmig nach aussen bewegen. Dadurch wird noch Schall abgestrahlt, obwohl der Impuls längst zuende ist. Im Regelfall ist der Rand nicht mit dem korrekten Wellenwiderstand abgeschlossen, daher wird die Welle reflektiert und verlängert den Impuls weiter. Dem Klang werden durch die elektro-akustischen Transienten (Einschwingvorgänge) unnatürliche Härte und scharfe Höhen zusätzlich mitgegeben. Die Lautsprecherwiedergabe täuscht Präzision und Deutlichkeit und auch mehr Höhen vor, was in bestimmten Bereichen der Pop-Musik sogar positiv bewertet wird.

Die lineare Signalverarbeitung

[0036] Wir neigen dazu, die Welt aus einer linearen Perspektive zu betrachten, d. h. als würde sie nach einfachen Ursache-Wirkung-Regeln funktionieren. Ein Beispiel dafür ist die gesamte Computertechnologie, die auf einem binären System basiert, d. h. auf 1 oder 0, Ja- oder nein-Entscheidungen. Lineare Erklärungsmodelle können nur einfache Systeme beschreiben, da sie sehr einfache Zusammenhänge ohne Variationen darstellen: 1 + 4 ist in einem linearen Modell immer 5. Auch jede unserer Beschreibungen ist per definitionem linear: Gedanken bilden wir aus Wörtern und diese wiederum aus dem sehr eingeschränkten linearen Spektrum von 27 Buchstaben. Man könnte sagen: Alles, was wir scheinbar greifbar in Worte fassen können, ist nur ein kleiner, linearer Ausschnitt des "eigentlichen Etwas".

[0037] In der Lautsprechertechnologie verhält es sich ähnlich: Es wird ein teurer Hochtöner mit einem Frequenzgang von 2000 Hz–20.000 Hz linear gekoppelt mit einem Mitteltöner-Frequenzgang von 50 Hz bis 2000 Hz. Der Frequenzgang addiert sich nun auf 50 Hz bis 20.000 Hz. Ein Buckel im Frequenzgang oder schlechte Sprungantwort? Nichtlinearer Klirr? Phasenverzerrungen? Kondensatoren, Spulen, Widerstände biegen jeden krummen Frequenzgang gerade. DSP-FIR – oder sonstwie Filter filtern auch den letzten Rest an Nichtlinearität aus dem System.

[0038] Mit linearen Meßinstrumenten! Schön glatt muß der Frequenzgang sein, damit das Instrument auch "natürlich" klingt!

[0039] Alle halten sich an diesem Glauben an die Linearität. Alle machen mit: Hersteller von CD-Spielern, Plattenspieler, Boxen

[0040] Bisherige Lautsprecherentwicklungen orientieren sich am Hören. Die Forschungen gingen davon aus, daß das Ohr eher ein passives, empfangendes Organ sei. Das Ohr sei ein passiver Empfänger linearer Frequenzgänge, welches zum Mitschwingen angeregt werde ähnlich wie ein Mikrofon. Es wurden sogar Frequenzgangmessungen des Ohres durchge-

führt, mit einem desaströsen Ergebnis: "Würden Sie so einen Lautsprecher bauen mit so einem verbogenen Frequenzgang?"

[0041] Das Ziel bei der bisherigen Lautsprecherentwicklung ist es, lineare Systeme mit einem geraden Frequenzgang zu entwickeln, um diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen zu entsprechen.

[0042] Ein weiterer Nachteil alter Lautsprecher auf dem Markt: Reflexionen an Boden und Decke, Modenbildung, Interferenzbildung zwischen einzelnen Lautsprecherchassis (**30**) lassen die Entstehung natürlicher Klangfarben nicht zu, egal wie teuer der Lautsprecher auch ist und egal, aus welchem High-Tech-Material die Frequenzweiche besteht und egal, aus welchem Material das Lautsprechergehäuse auch gebaut wird. Es sind lineare Systeme. Bei Erregung linearer Elemente mit einem Sinus-Signal erhält man am Ausgang wiederum ein sinusförmiges Signal mit derselben Frequenz, jedoch mit veränderter Phasenlage (**6a**). Die passiven Bauelemente ohmscher Widerstand, Spule (Lautsprecher), und Kondensator werden als lineare Bauteile bezeichnet, da sie auf eine harmonische Schwingung der Eingangsgröße mit einer ebenfalls harmonischen Schwingung der Ausgangsgröße bei gleicher Frequenz reagieren. Das Ausgangssignal eines Hifi-Verstärkers erzeugt einen linearen Frequenzgang eines angeschlossenen Lautsprechers.

[0043] Bisherige "Schallwandler" wandeln den Schall (**6a**). Schall kann man nicht "wandeln", ohne dass der akustische Musterbildungsprozess im Gehirn empfindlich gestört wird. Richtungs- und Klang hören wird ohne die notwendigen Informationsstrukturen über die korrekte Raum-zeitliche-Phasenlage gestört. Die Schallstruktur, die vom Lautsprecher zum Hörorgan gelangt, muß exakt die gleiche sein wie beim Original, dem Instrument, damit wir das Instrument mit seiner Charakteristika erkennen. Wenn wir ein Original-Schallereignis (**1**) hören, hören wir die Original-Struktur mit unserem Hörsinn. Wenn wir die Reproduktion des Originals hören, hören wir die reproduzierte Schallstruktur ebenfalls mit unserem Hörsinn.

Das Prinzip der Schallwandler

[0044] *Fig. 6* zeigt das Prinzip der fast seit 150 Jahren gebauten Schallwandler. Es zeigt, wie die Luftwellen von einer Membran hin- und her "geschubst" werden. Dieses ist ein linearer Prozess – je größer die Ablenkung der Membran, je größer die Bewegung der Luftmoleküle.

[0045] Die Komponenten, die bei Schallwiedergabegeräten benutzt werden, – Verstärker, Lautsprecher ..., haben immer eine gewisse Nichtlinearität. Sie erzeugen Verzerrungen in dem wahrgenomme-

nen Schall – sie erzeugen Oberschwingungen usw. –, die in dem Ausgangsschall nicht vorhanden sind. Diese neuen Komponenten werden vom Ohr gehört und sind offensichtlich unangenehm. Aus diesem Grund sind "Hifi"-Geräte so linear wie möglich ausgelegt. (Warum die Nichtlinearität des Ohres nicht in der selben Weise "unangenehm" ist oder warum wir sogar wissen, dass die Nichtlinearität im Lautsprecher und nicht im Ohr ist, ist nicht klar).

[0046] Die Ursache der Klangfarbenverfälschung liegt in der systemimmanenten Signalverfälschung alter bisherigen Lautsprecher. Die akustische Musterbildung im Gehirn und damit die korrekte Zuordnung der Klangfarbe ist nur in einer komplett neuen nichtlinearen Sichtweise im Lautsprecherbau zu finden, denn:

Die Natur verhält sich nichtlinear.

Ziel der Erfindung

[0047] Ziel der Erfindung ist es, einen Lautsprecher zu schaffen, welcher die Fehler der bisherigen Schallwandler-Systeme durch eine komplett andere Sichtweise ersetzt. Der Lautsprecher soll nicht mehr nur den Schall wandeln, sondern er soll ein Muster (**6b**) bilden. Dieses Muster soll der natürlichen Musterbildung des Schallwellenfeldes entsprechen. Das erzeugte Muster soll holografisch mit Hilfe von Interferenzen (**2**) gebildet werden. Da das so erzeugte Muster dem natürlichen Schallmuster gleicht, entspricht es dem menschlichen Gehirnmuster. Die akustische Musteranalyse des Gehirns geht schneller. Klangfarben werden nicht mehr aus linearen Systemen falsch berechnet, sondern stimmen mit den als echt wahrgenommenen Klangfarben überein.

Mustergenerator

[0048] Im Gegensatz zum Prinzip der "Schall-Wandler" soll hier der Begriff "Mustergenerator" verwendet werden. *Fig. 6* zeigt den Unterschied:

Prinzip "Schallwandler":

- linear
- mangelhafte Klangfarbendarstellung
- mangelhafte Raumdarstellung
- es wird nur der Schall gewandelt

Prinzip "Mustergenerator":

- nichtlinear
- natürliche akustische Musterbildung aus Chaos mit Rückkopplung
- holografische Raumausleuchtung
- als echt empfundene Klangfarben
- Raum-zeitliche Verschränkung des Schallwellenfeldes durch Interferenzbildung

Das natürliche Schallwellenfeld

[0049] Bevor auf die Konstruktion des erfindungsgemäßen Lautsprechers eingegangen wird, soll erst geklärt werden, wie die Musterbildung im Gehirn mit dem natürlichen Schallwellenfeld zusammenhängt. Das natürliche akustische Wellenfeld holografisch nachzubilden, und zwar ohne störende Reflexionen von Wänden, Möbeln etc., ist Ziel der Erfindung. Im Folgenden wird gezeigt, wie eng verzahnt die Begriffe Chaos, Struktur, Muster, Information, Holografie und holografischer Code sind. Der erfindungsgemäße Lautsprecher imitiert hierbei den Weg der Erzeugung eines natürlichen Schallwellenfeldes. Als Vorbild des Wellenfeldgenerators dient dabei die (nichtlineare) Natur: Aus Chaos entwickeln sich Strukturen. Aus diesen entstehen wellenförmige Muster, Interferenzen, Schallwellenüberlagerungen etc. Diese sind nichts anderes als Informationsträger. Die Informationen können nun mit geeigneten Geräten (Gehirn als Wellenmusteranalysator und -dekodierer!) gelesen werden. Sie können mit geeigneten Geräten (Wellenfeldgeneratoren) nach dem holografischen Modell aufgebaut werden.

[0050] Der Wellenfeldgenerator ist quasi ein "Mustergenerator".

Aus Chaos wird Struktur

[0051] Der Chemiker Ilya Prigogine erhielt 1977 den Nobelpreis für seine Theorie der Nichtgleichgewichtsdynamik. Er hatte erkannt, daß sich fast alle bisherigen physikalischen Gesetze auf "geschlossene Gleichgewichtssysteme" beziehen. In der Natur jedoch existieren so gut wie keine geschlossenen Systeme, d. h. auch die physikalischen Gesetze sind Konstrukte und bilden die Welt nicht zwangsläufig korrekt ab.

[0052] Auch der Mensch selbst ist ein nicht-lineares System, nur eben in einer linearen Wahrnehmung gefangen: Wir sehen die nicht-lineare Welt verzerrt durch eine lineare Brille.

[0053] Die Chaostheorie ist die Theorie nicht-linearer, komplexer Systeme und handelt von der Ganzheit von Systemen. In einem nicht-linearen System ist $1 + 5$ mehr als sechs, anders ausgedrückt: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Damit stellt die Chaoforschung grundlegende Annahmen der klassischen Naturwissenschaften in Frage, die auf linearen Regeln basieren. Linearität ist jedoch die Ausnahme in der Natur, Nicht-Linearität die Regel (z. B. das Wetter, das Ohr, das Gehirn, der Wellenfeldgenerator, soziale Systeme oder Schallwellen).

[0054] Prigogine fand heraus, daß sich offene Systeme nicht zwangsläufig in Richtung Chaos bewegen: Abhängig von den einzelnen Systemparametern

können sie sich auch hin zu einer höheren Ordnung entwickeln. Jedes Systemelement kann dabei Rückkopplungen auslösen, wodurch auch kleine Auslöser große Veränderungen bewirken können. Die Wirkung einer Ursache kann also selbst zu einer Ursache werden, die die ursprüngliche Ursache beeinflusst (Rückkopplung). Dies kann zur Selbstordnung der Ordnung führen.

[0055] Betrachten wir hier die Entstehung der Wasserwellen in der Natur: Jeder hat schon mal die Wellen beobachtet, die entstehen, wenn man einen Stein ins Wasser wirft. An der Oberfläche breiten sich Wellen in konzentrischen Kreisen um den Ursprung der Störung aus. Ähnlich verhält es sich mit Schallwellen in der Luft. Charakteristisch für eine Welle ist ein periodisches Muster aus Wellenbergen und Tälern. Wenn sich die Teilchen in Ausbreitungsrichtung einer Welle hin- und her bewegen, spricht man von longitudinalen Wellen. Diese Art von Wellen ist für die Schallübertragung in der Luft verantwortlich.

[0056] Analog zu Wasserwellen ergeben sich auch in der Luft chaotische Wellenbewegungen, welche auf dem ersten Blick ohne Struktur sind. Überall bilden sich Wirbel, kleine und große Wellen, Interferenzen, Überlagerungen und Strudel.

[0057] In der Natur beobachtet der Mensch eine überwältigende Fülle von Formen, Muster und Strukturen. Die Artenvielfalt in der Biologie, Organisationsprozesse im Gehirn, die Wolkenbildung, die Entstehung geologischer Formationen und Muster in Form von Wasser- oder Schallwellen sind nur einige Beispiele. Auch die Erzeugung kohärenter Laserstrahlen aus zunächst ungeordnet schwingenden Elektronen, Musterbildung wie die Entstehung von Sanddünen oder Sandrippeln durch Wind- oder Wasserströmung stellen weitere Beispiele dar.

[0058] In der Biologie wären in diesem Zusammenhang Fellmuster von Säugetieren, das Auftreten raumzeitlicher Strukturen bei der Reizausbreitung in Nervenbahnen oder der Organisation des Herzmuskels zu nennen.

[0059] Alle genannten Strukturen sind das Ergebnis komplexer Selbstorganisationsprozesse. Sie bilden sich in nichtlinearen Systemen, durch die beständig Energie strömt. In solchen dissipativen Systemen kann eine kleine Veränderung der Parameter zu einer drastischen qualitativen Änderung der Struktur und des Systemverhaltens führen.

[0060] Die spontane Entstehung von Strukturen aus einem unstrukturierten Zustand ist ein in der Natur sehr weitverbreitetes Phänomen. Es kann auftreten, wenn ein nichtlineares System durch Energiezufuhr oder durch andere Maßnahmen stark aus dem dynamischen Gleichgewicht gebracht wird.

Aus Struktur wird Muster

[0061] Um diese Musterbildung näher zu beleuchten, stellen wir uns folgende Situation vor:

Ein Fisch im Aquarium. Wir werten einen Stein hinein. Wir klopfen mit dem Finger gegen die Aquariumscheibe. Wir streuen Futter oben auf die Wasseroberfläche.

[0062] Es bildet sich im Aquarium ein Wasserwellenfeld aus mit dem für den Fisch notwendigen Informationen. Stellen wir uns nun vor, wir würden in einer millionstel Sekunde das Wasser schockgefrieren (Vorher nehmen wir den Fisch noch raus).

[0063] Dieser dicke Eisklumpen wird nun in hauchdünne, viereckige Scheiben geschnitten.

[0064] Auf diesem Präparat kann nun die Wellenverteilung näher betrachtet werden. Es zeigen sich die erwähnten Wellen, Interferenzen, Überlagerungen etc., welche vom Fingerklopfen und Futterstreuern herrühren.

[0065] Ein zweidimensionaler Ausschnitt des Wellenfeldes wird sichtbar. Es zeigt sich hier ein Muster. Dies ist nur zweidimensional. Das echte Wasserwellenfeld ist natürlich dreidimensional. Das Muster entsprechend ebenfalls dreidimensional. Noch ein Unterschied: Das Muster ist nicht eingefroren, sondern ändert sich alle millionstel Sekunde.

[0066] Also: Das Original-Wasserwellenfeld ist durch Bildung von dreidimensionalen, zeitlich-phasen codierten Mustern gekennzeichnet.

[0067] Ähnlich verhält es sich im Original-Schallwellenfeld. Im Prinzip ist es ein dreidimensionales akustisches Muster, welches von geeigneten Codierungsapparaten (Gehirn!) ausgelesen werden kann. Ohren können diese Muster "sehen" und in elektrische Impulse für's Gehirn umwandeln.

[0068] Musterbildung durch Wellen können im Wasser, in der Luft oder in elektrischen Feldern beobachtet werden. Das Schallwellenfeld ist also der Raum, der von den Ohren bis zur Hörgrenze reicht. Angefüllt mit Luftmolekülen.

Aus Muster wird holografische Codierung

[0069] Die Frage stellt sich, wie kommt die große Welt in das kleine Gehirn? Wie schafft es das Gehirn, diesen "Wellensalat" zu ordnen und Muster zu erkennen?

[0070] Es muß im Prinzip ein "wellenkonformer" Code erfunden werden, eine Art "Binärcode" für das Gehirn. Als Basis sollte die Weltordnung, also die Strukturänderung im Chaos, dienen.

[0071] Holografie ist zweidimensionale Speicherung eines dreidimensionalen Objektes auf Phasenebene. Voraussetzung für die Bildung eines Hologramms ist Interferenz.

Interferenz und Holografie

[0072] Interferenz ist das Überlagerungsmuster, das entsteht, wenn zwei oder mehr Wellen, egal ob Wasserwellen oder Schallwellen, einander durchdringen. Wenn Sie beispielsweise einen Stein in einen Teich werfen, erzeugt er eine Reihe von konzentrischen Wellenringen. Werfen Sie zwei Steine gleichzeitig in's Wasser, so bilden sich zwei Wellenzüge, die sich ausweiten und einander schneiden. Die komplizierte Verteilung von Wellenbergen und Wellentälern, die sich bei solchen Kollisionen zweier Wellen ergeben, werden als Interferenzmuster bezeichnet.

[0073] Auch Lichtwellen können Interferenzmuster hervorbringen. Da das Laserlicht eine extrem reine (kohärente) Form des Lichts ist, eignet es sich besonders gut für die Ausbildung von Interferenzmustern. Es stellt gleichsam einen perfekten Stein und einen perfekten Teich dar.

[0074] Zur Herstellung eines Hologramms wird ein einziges Laserlicht in zwei getrennte Strahlen aufgeteilt. Der erste Strahl wird von dem abzubildenden Gegenstand zurückgeworfen. Dann wird der zweite Strahl losgeschickt, welcher mit dem ersten "kollidiert". Beim Zusammentreffen erzeugen beide Strahlen ein Interferenzmuster, welches auf einem Film aufgezeichnet wird. Für das bloße Auge hat das Bild auf dem Film keinerlei Ähnlichkeit mit dem fotografierten Objekt. Das Muster, welches entsteht, gleicht den konzentrischen Ringen, die entstehen, wenn man eine Handvoll Steine in einen Teich wirft.

[0075] Sobald nun ein weiterer Laserstrahl (Referenzstrahl) diesen Film durchdringt, erscheint wieder das dreidimensionale Abbild des ursprünglichen Objekts.

[0076] Der räumliche Eindruck ist nicht die einzige Besonderheit von Hologrammen. Wenn ein holografischer Film mit einer Birne als Motiv entzweigeschnitten wird, enthält jede Hälfte das vollständige Bild der Birne.

[0077] Die Welleneigenschaft, um die es hier geht, ist die Phase. Sie gibt an, ob sich an einer bestimmten Stelle ein Wellenberg, ein Hang oder ein Tal befindet. Weil die von der Birne ausgehenden Wellenfronten unterschiedliche Strecken zum Fotoapparat zurücklegen, haben sie unterschiedliche Phasen. In diesen Unterschieden steckt die räumliche Tiefe. Diese Information ist als Phasenunterschied der Lichtwellen codiert.

[0078] Sowohl der Phasenunterschied als auch der Amplitudenunterschied können Informationen repräsentieren. Es kommt nur darauf an, welche Eigenschaft gemessen wird. Die Messung der Amplituderverteilung z. B. liefert die Fotografie. Die Messung der Phasenverteilung liefert dagegen das Hologramm.

[0079] Betrachten wir Licht als Teilchen ("Amplitude"), dann erhalten wir auf der Fotoplatte genau lokalisierbare Bildpunkte. Diese Punkte entsprechen der klassischen Vorstellung über lokalisierbare Informationen. ("Genau hier ist ein Bit") Betrachten wir Licht als Welle (Phasen), dann erhalten wir auf einer Fotoplatte mehr oder weniger scharfe Interferenzmuster. Nun ist die Information kaum mehr lokalisierbar. Sie ist in den Abständen der Wellenmuster codiert. ("Hier und dort ist das Bit verteilt")

Holografische Information

[0080] Die holografische ("vollständig schreibende") Speicherung von Information ermöglicht die Zerlegung von ganzen Informationseinheiten (Bits) in gewisse Bruchteile. Entfernt man einen Abschnitt eines Hologramms, dann geht nicht etwa ein Teil des Bildes verloren, sondern das gesamte Bild wird unschärfer.

[0081] Es scheint so, daß die Natur auf Quantenebene Informationen holografisch speichert. Die holografische Codierung beschränkt sich jedoch nicht nur auf Quantenebene, sondern wurde auch innerhalb neuronaler Netze erkannt.

[0082] Der Mensch speichert z. B. verschiedene Klassen von Informationen (Sprache, Musik, Bilder, Bewegungen etc.) innerhalb verschiedener Bereiche des Gehirns ab. Obwohl diese Gehirnstrukturen eine grobe räumliche Zuordnung zu gewissen Datenklassen erlauben, ist es unmöglich, bestimmte Informationen innerhalb einzelner Neuronen exakt zu lokalisieren. Die Information wird nämlich nicht von dem Zustand eines einzelnen Neurons, sondern "holografisch" über die Verbindungswege vieler Neuronen repräsentiert. Erst das Zusammenspiel, bzw. die Überlagerung verschiedener Gehirnfunktionen führt zum Erkennen bestimmter Informationen.

[0083] Diese Art der Codierung ist in der Natur sehr verbreitet. Für Lebewesen ist es entscheidend, aus vielen komplexen Sinneseindrücken sehr schnell bestimmte Informationen zu gewinnen. Und die holografische Codierung und Decodierung der Information ermöglicht dem Gehirn eine extrem schnelle und effiziente Datenverarbeitung, an welcher klassische Computer bisher scheitern.

Definition "Original-Schallwellenfeld"

[0084] Das Original-Wellenfeld soll quasi im Konzertraum "eingefroren" werden. Dieses wird nun per

"Schubkarre" in den Raum des Hörers transportiert und wird dort mit dem Wellenfeldgenerator "aufgetaut".

Was bedeutet nun "Original-Schallwellenfeld"? Was ist "Schall"?

[0085] Schall ist lediglich eine "Störung des Systems", in dem wir leben. Das System, in dem wir leben, ist das "Luft-System". Auf dieses System bezogen hat sich im Laufe von Jahrtausenden im Zuge der Evolution ein Arsenal an Sinnesrezeptoren entwickelt. "Schall" ist lediglich das Zusammenballen und das Verdünnen von Luftmolekülen, hervorgerufen durch eine "Störung". Dieses Zusammenballen und Verdünnen der Luftmoleküle breitet sich wellenförmig im Raum aus – der Luftdruck steigt an einer bestimmten Stelle an, an einer anderen fällt er. So entstehen Luftdruckschwankungen. Diese überlagern den schon vorhandenen atmosphärischen Luftdruck und breiten sich wellenförmig aus, wobei Überlagerungen, Interferenzen, Schwebungen etc. entstehen.

[0086] Dieses Phänomen wird als "Schall" bezeichnet. Das Ohr ist "lediglich" ein (aktiver) Sensor zur Registrierung dieser Überlagerungen. Im Gehirn wird der Bezug hergestellt. Der Mensch hört also mit dem Gehirn. Das Wellenfeld selbst setzt sich also aus den unterschiedlichsten Schwebungen, Frequenzen, Interferenzen etc. zusammen. Das Ohr detektiert und analysiert nun aus diesem Sammelsurium unterschiedlichster Ereignisse akustische Muster und wandelt diese in elektrische Impulse um.

[0087] Ähnlich wie in der Holografie werden hier unter anderem die einzelnen Bruchstücke der Wellen (Interferenzmuster) als Informationscode herangezogen. Wir bewegen uns also (akustisch gesehen) in einem Meer von Schwingungen, Interferenzen, Schwebungen, welche vom Gehirn entsprechend als akustisches Muster (4) eingesortiert werden. Überlagerungen von Frequenzen führen zu Interferenzbildung. Hieraus ergeben sich komplett neue akustische Muster, aus welchen sich dann die Obertöne bilden, aus denen sich die Klangfarben bilden.

[0088] Hören wir in ein Konzert hinein (Fig. 1): Die linke Geige bildet zusammen mit den Trompeten Überlagerungen. Resultat: Ein raumhohes Schallwellenfeld, welches dem Hörer entgegenbrandet. Immer neue Schallwellenfelder im Nanosekundentakt branden dem Hörer entgegen. Ständig wechselnde Interferenzmuster werden vom Gehirn mit – Ja, das ist Live! – analysiert und in die entsprechende Schublade eingesortiert.

[0089] Dieses Konzert soll nun 1:1 zuhause nachgebaut werden: Das "eingefrorene" Wellenfeld wird quasi mit der "Schubkarre" nachhause transportiert

und dort vom Wellenfeldgenerator "aufgetaut". In dem vorangegangenen Beispiel mit dem "eingefrorenen Wellenfeld" entspricht das Interferenzmuster der Schubkarre. Dieses transportiert die Informationen direkt in's Gehirn.

Modell der holografischen
Signalverarbeitung in Gehör und Gehirn

[0090] Es ist bis dato unbekannt, wie wir hören und wie das Gehirn diese Schallmuster umsetzt.

[0091] Die neuesten Forschungsergebnisse lassen sich jedoch zu einem Modell formen, aus deren Ergebnissen man die Entwicklung eines holografischen Lautsprechers ableiten kann.

[0092] Um einen holografischen Lautsprecher zu entwickeln, muß man sich zuerst mit der effektiven Signalverarbeitung im Gehör und im Gehirn beschäftigen. In den letzten Jahren wurde ein Modell entwickelt, welches dabei psychologisches Wissen über die neuronale Verarbeitung im Gehirn als auch physikalische Prinzipien bei der Signalerkennung enthält. All diese Erfahrungen führen zur Entwicklung eines völlig neuen holografischen Lautsprechers. Dieser gibt die Musik so wieder, wie das Gehirn die Muster registriert.

Nichtlineare Signalverarbeitung im
Gehör. Das Ohr arbeitet nichtlinear.

[0093] Neueste Forschungen eröffnen eine völlig neue Sichtweisen auf die menschliche Signalverarbeitung: Lautsprecher, Ohr, Gehirn. Alle Faktoren müssen dabei "Hand in Hand gehen", sie müssen wie ein Zahnrad im Getriebe zusammenarbeiten und der Musterbildung im Gehirn entsprechen.

[0094] Für ein Verständniss der maßgebenden biophysikalischen Funktionsprinzipien muß man quasi das Gesamtrepertoire von Konzepten der Schwingungs- und Wellenphysik heranziehen. Das Ohr nutzt dabei Rückkopplungs- und Verstärkungsprinzipien, die sowohl bei Musikinstrumenten als auch in der Elektronik sowie in der Laserphysik (und auch beim erfindungsgemäßen Wellenfeldgenerator!) eine Rolle spielen. Mehr noch: Einige funktionelle Aspekte der Mikromechanik des Gehörs, vor allem die sehr trickreiche nichtlineare Signalverarbeitung und Rauschunterdrückung, führen an die Front aktueller physikalischer Forschung.

[0095] Unabhängig von noch strittigen Details über den aktiven Teil der Ohren lässt sich die Rückkopplung im Innenohr als ein direkter neuro-mechanischer Musterbildungsprozess auffassen, der erheblich schneller als die rein neuronalen Verschärfungsprozesse abläuft. Es erfolgt eine ähnlich intelligente Vorverarbeitung und Verschärfung des Erregungs-

musters bereits auf mechanischer Ebene, wie sie bei der lateralen Inhibition auf vielen Ebenen des neuronalen Systems stattfindet.

[0096] Um die Funktionsweise des Wellenfeldgenerators deutlich zu machen, möchte ich auf ein amerikanisches Patent Nr. 4680856 verweisen.

[0097] Ausgehend vom Nobelpreisträger Karl H. Pribrams (1971) Grundmodell, welches besagt, daß das Gehirn holografisch arbeitet, hat der argentinische Physiologe Hugo Zuccarelli ein neues Aufzeichnungsverfahren entwickelt, das die Erzeugung eines Hologramms aus Tönen und nicht mehr nur aus Licht gestattet. Diese Technik beruht auf der Tatsache, daß das menschliche Ohr nicht nur Klänge und Geräusche passiv wahrnimmt, sondern Laute aussendet. Die Erkenntnis nutzend, dass diese auf natürliche Weise entstehenden Laute das akustische Gegenstück des "Referenzlasers" sind, der für die Herstellung eines holografischen Bildes verwendet wird, gelang es Zucarelli, Töne zu reproduzieren, die noch echter und plastischer wirken als der Stereoklang.

[0098] Da Zuccarellis Technik auf dem holografischen Lautverarbeitungsverfahren des Gehirns basiert, kann sie offenbar das Ohr genauso erfolgreich täuschen, wie Lichthologramme das Auge zu narren vermögen. Weil eine holofone Aufnahme nichts mit der konventionellen Stereofonie zu tun hat, behält sie erstaunlicherweise auch dann ihre unheimliche Dreidimensionalität bei, wenn man sie nur mit einer Seite eines Kopfhörers empfängt. Die hier angewandten holografischen Prinzipien sind wohl auch die Erklärung dafür, dass Menschen mit einseitiger Taubheit trotzdem eine Schallquelle orten können, ohne den Kopf bewegen zu müssen. Verschiedene Künstler wie Paul McCartney, Peter Gabriel und Vangelis, haben bereits entsprechende Tonträger nach diesem Verfahren produziert.

[0099] Nachteilig an diesem System ist, dass die akustischen Ereignisse nur über Kopfhörer wiedergegeben werden können.

[0100] Weiterhin gibt es Kontroversen über die Ansprüche von Hugo Zuccarelli bez. dieser Aufnahmetechnik, da diese erzielten Effekte auch mit traditionellen binauralen Aufnahmen (HRTF) verglichen werden können. Auch hat Zuccarelli keine wissenschaftliche Forschung an seiner Technik zugelassen.

Das Gehirn arbeitet nichtlinear

[0101] Im anschließenden Hörnerv wird nun die akustische Information durch Erhöhung der neuronalen Aktivität der verschiedenen Nervenfasern codiert, so dass zu jedem Zeitpunkt die Schallintensität für unterschiedliche Frequenzen verschlüsselt wird.

[0102] Zudem finden wir im Antwortverhalten von Hörnervenfasern stark nichtlineare, sogenannte adaptive Effekte. Im Hörsystem werden plötzliche Änderungen im Schall wie z. B. Ein- und Ausschaltvorgänge (Transientenwiedergabe!) neuronal stärker bewertet als unveränderliche Anteile im Signal. Ein solches Verhalten ist typisch für die Verarbeitung von zeitlicher Information und zeigt sich in allen Stufen entlang der Hörbahn bis hin zum Cortex. Physikalisch können wir uns ein solches adaptives Verhalten durch das Hintereinanderschalten von sogenannten Rückkopplungsschleifen mit unterschiedlichen "Zeitkonstanten" vorstellen, bei denen jeweils das Eingangssignal durch das tiefpassgefilterte Ausgangssignal geteilt wird. Hierdurch wird eine gewisse Adaption an den Mittelwert des Eingangssignals ermöglicht, während schnelle Änderungen unbeeinflusst durchgelassen werden. Das Antwortverhalten der im Modell enthaltenen Adoptionsstufe ist tatsächlich gemessenen neuronalen Antwortmustern von Hörnervenfasern sehr ähnlich, so dass z. B. Signalbeginn und Signalende besonders betont werden. Allerdings können wir diese im Modell angenommenen Adoptionsstufen nicht direkt einzelnen lokalen Strukturen zuschreiben.

[0103] Die neuronalen Reize werden vom Hörnerv in den sogenannten Hirnstamm weitergeleitet, in dem bereits komplexe Funktionen ausgewertet werden. Beispielsweise erfolgt hier, in der sogenannten oberen Olive, ein erster interauraler Vergleich, d. h. eine Auswertung der zwischen den beiden Ohren auftretenden Zeit- und Intensitätsunterschiede zur Lokalisation von Schallquellen. Weiterhin erfolgt in der vielleicht wichtigsten Schaltstelle im Hirnstamm, dem Inferior Colliculus, eine Auswertung von Interferenz-Frequenzen. Modulationen bezeichnen die Schwankungen der zeitlich Einhüllenden von Signalen. Alle für uns wichtigen Kommunikationssignale (Sprache, Musik) weisen Interferenzen bzw. Modulationen auf. Deshalb ist es besonders interessant zu verstehen, wie solche Modulationen in unserem Gehirn abgebildet und weitergeleitet werden. In unteren Frequenzbereichen werden Modulationen als Lautstärke Schwankungen wahrgenommen, bei höheren Modulationsfrequenzen werden durch die gleichzeitige spektrale Verfärbung des Schalles komplexere Klangänderungen wahrgenommen.

[0104] Erst seit Kurzem ist bekannt, dass im Inferior Colliculus der Zeitverlauf der Nervenerregung in verschiedene Modulationsfrequenzbereiche aufgespalten wird. Man findet hier Neuronen, die auf bestimmte Modulationsfrequenzen abgestimmt sind, während sie auf andere Modulationsfrequenzen gar nicht reagieren. Neben dem schon im Innenohr gebildeten Ordnungsprinzip der Tonotopie (Frequenz-Orts-Abbildung), zeigt sich auf dieser höheren Stufe zusätzlich das Prinzip der Periodotopie, d. h. verschiedene Modulationsfrequenzen werden an verschie-

denen Orten abgebildet. Interessanterweise bilden sich dabei die beiden Achsen Frequenz- und Modulationsfrequenz unabhängig voneinander im Gehirn ab. Physikalisch entspricht dies einer Modulationsfilterbank, die die einzelnen vorverarbeiteten Signale in Modulationsfrequenzgruppen zerlegt, so dass sich am Ausgang der bisherigen Verarbeitungsstufen im Modell ein zweidimensionales Muster ergibt (Frequenz \times Modulationsfrequenz). Diese Modellstufe ist fundamental für die gesamte Modellierung der Signalverarbeitung, denn sie ermöglicht eine realistische Nachbildung vieler unterschiedlicher akustischer Phänomene, bei denen die zeitlichen Aspekte des Hörens eine Rolle spielen.

[0105] Im Modell wird am Ausgang der Modulationsfilterbank noch ein "internes Rauschen" des neuronalen Systems angenommen, das die neuronalen Verarbeitungsfehler repräsentiert. Das zeitliche Muster am Ausgang der Vorverarbeitung im Modell stellt die sogenannte interne Repräsentation des ursprünglichen akustischen Eingangssignals dar. Einer solchen internen Repräsentation liegt somit die Modellvorstellung zugrunde, dass wir die wesentlichen Vorverarbeitungsschritte des Hörsystems mit technischen Schaltkreisen effektiv nachbilden können. Wir nehmen also an, dass auf diese Weise eine Art Abbildung vom "Zustand des Gehirns" erstellt wird. Auf diesem Zustand bauen nun verschiedene Leistungen des Gehörs auf. Er gilt sozusagen als Eingangsgröße für den folgenden Mustererkenner (Detektor), durch den verschiedene Signale erkannt bzw. unterschieden werden können. Dem Mustererkenner liegt die Idee zugrunde, dass eine Änderung im Eingangssignal gerade wahrnehmbar wird, wenn die Änderung in der zugehörigen internen Repräsentation des Signals gerade so gross ist, dass sie aus dem internen Rauschen herausragt.

Entwicklung der ersten nichtlinearen,
holografischen Lautsprecher

[0106] Bereits im Jahre 2001 wurde von Prof. Gabriel Weinreich ein Lautsprecher erfunden, welcher als Vorbild des erfindungsgemäßen Wellenfeldgenerators dient. Er ist – genau wie der Wellenfeldgenerator – ein Resonator – Generator – Lautsprecher.

[0107] Ein solches Lautsprechersystem ist aus US-Patent Nr. 6263083 bekannt: Ein röhrenförmiger Lautsprecher kann – basierend auf Interferenzerscheinungen – ein Abbild einer echten Violine erzeugen, mit all den entsprechenden Obertönen. Es ist, als wenn der Klang der Geige den Raum in einer ganz anderen Weise füllt, als wenn die Geige real da sei.

[0108] Der Klang einer Violine – live gespielt – unterscheidet sich drastisch von der Lautsprecherwiedergabe. Dies ist nicht zu erklären durch Frequenzgang, Verzerrung etc, sondern stammt aus der Richtcha-

rakteristik, in welcher vorhandene Lautsprecher ihren Klang projizieren. Subtile Zeitverzögerungen und Phasenverschiebungen lassen das – eigentlich ideale – Musikausgangssignal (z. B. von der CD) vom Lautsprecher verschleifen.

[0109] Der projizierte Klang ist in der Regel in die axiale Richtung – also nach vorn – gelegt zu den hohen Frequenzen.

[0110] Je höher die Frequenz, je starker ist diese Konzentration, aber der Übergang geschieht langsam und übergangslos.

[0111] Im Gegensatz dazu ist die Richtcharakteristik einer z. B. Geige ganz anders: Bei Frequenzen oberhalb von ca. 850 Hertz variiert diese extrem schnell sowohl im Winkel als auch mit der Frequenz. Dies bedeutet, dass bei einer bestimmten Frequenz der Ton innerhalb einer bestimmten scharfen Richtung sog. "Leuchttürme" bildet, wobei sich die Ausrichtung und Stärke dieser "Leuchttürme" sich ständig ändert, wenn die Frequenz verändert wird auch nur eines kleinen Halbtone.

[0112] Diese speziellen Eigenschaften – nicht nur der Geige –, nämlich die extrem schnelle Änderung der Richtcharakteristik sowohl im Winkel als auch in der Frequenzabhängigkeit, sind nur eine Charakteristik, was ich unter "Klangfarbe" verstehe. Wenn man eine Live-gespielten Solovioline zuhört, kann man unterscheiden, ob das instrument einem zugewandt ist oder ob es gerade seitlich zu einem spielt. Man hört einen oszillierenden Klangkörper, eine "schillernde" Wiedergabe.

[0113] Der sog. "DTC Lautsprecher (Direct Tone Colour)" ist hier eine neue Art von Lautsprechersystemen, welches normalen Audiosignalen aus z. B. einer CD mit dem Merkmal einer "echten Klangfarbe" erweitert. Dieses System besteht aus einem Tieftöner, vier Hochtönen und angesetzten Röhren. Obwohl dieses System mit nur einem Monokanal beaufschlagt wird, wird dieses Signal elektronisch so verarbeitet, daß es äusserst schnell diese Phasen- und Amplitudenänderungen, abhängig von der Frequenz, umsetzen kann.

[0114] Die 4 Quellen interferieren miteinander und bilden so ein entsprechendes Interferenzmuster, welches stark winkel- und phasenabhängig wirkt. Der Lautsprecher erzeugt so eine "direktionale Klangfarbe".

[0115] Diese Effekte bleiben – aufgrund der speziellen, genau abgestimmten Röhrendurchmesser – allerdings nur auf Violine und Orgel begrenzt. Andere Instrumente oder gar menschliche Stimmen werden "konventionell" abgestrahlt, d. h. ohne interferenzabhängige Effekte.

[0116] Diese Einschränkungen führten wahrscheinlich dazu, dass dieser neuartige Lautsprecher nicht mehr weiterentwickelt wurde. Ein marktreifes System wurde mit diesem interferenzbasierenden Lautsprecher nicht geschaffen.

[0117] Im Unterschied hierzu soll der erfindungsgemäße Wellenfeldgenerator eine Lautsprecher "familie" werden, d. h. es sollen kleine, größere und große Wellenfeldgeneratoren verschiedener Bauformen angeboten werden.

Konstruktion des Wellenfeldgenerators

[0118] Die Basis dieser Erfindung bildet ein Verfahren zur Erzeugung und Ausstrahlung von zeitlich-räumlich verschränkten Schallwellenfeldern (46), welche holografisch mit Hilfe von Interferenzmustern räumlicher und zeitlicher Art (45a + b) erzeugt werden und welche der Musterbildung im Gehirn entsprechen.

[0119] Die Erfindung betrifft weiterhin einen für das erfindungsgemäße Verfahren ausgelegten Lautsprecher als Wellenfeldgenerator (47) bestehend aus multipel vertikal angeordneten Interferenzresonatoren (17), welche eingehende Audio-Signale (18) transferieren in Vibrationsmuster-gesteuerte Interferenzmodulationen, aus denen raumhohe, zeitlich-räumlich-verschränkte Wellenfelder entstehen (46). Außerdem betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Klang- und zur Zeitkorrektur (25) von 1. Audiosignalen (27) und 2. Interferenzmodulationen (26) mit einer Eingangsschnittstelle, die zur Übertragung von Audiosignalen von einer Signalquelle vorgesehen ist, mit einem Filter zur Erzeugung von modulierten Interferenz-Signalen (24) und mit einem oder mehreren Signalprozessoren, die das Audiosignal in seinem Frequenzverlauf verändern und aufspalten. Passende, direkt an den Signalprozessor gekoppelte Endverstärker (21, 22), welche phasen neutrale Eigenschaften besitzen und welche spezielle Verstärkungskurven beinhalten, geben das Eingangssignal ohne Phasenversatz direkt weiter an die beschallenden Interferenzresonatoren (17) ohne zusätzliche analoge Filterstufen. Das Eingangssignal wird zusätzlich per DSP-Filter umcodiert in interferenzmodulierte Signale (37, 37a), welche an die zu beschallenden Interferenzresonatoren (17) resp. an die Aktuatoren (11) weitergeleitet werden. Die auftretenden starken Resonanzen (35) werden durch Mikrofone (14) aufgezeichnet und mit entsprechenden Soll-Kurven ver- und abgeglichen. Rückkopplungsschleifen (20) mit unterschiedlichen Zeitkonstanten, bei denen das Eingangssignal (18) durch das tiefpassgefilterte Ausgangssignal geteilt wird, garantieren durch eine Über-Alles-Korrekturschaltung, welche, fest in Prozessoren einprogrammiert sind, für eine optimale Ansteuerung der Interferenzresonatoren (17).

[0120] Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszustalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die Ansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung mehrerer Ausführungsformen zu verweisen. In der Beschreibung und den Zeichnungen sind verschiedene Ausführungsformen und Variationen der Erfindung dargestellt.

Der Interferenzresonator

[0121] Der Wellenfeldgenerator (47) wird durch multipel vertikal übereinander gestapelte Interferenzresonatoren (17) angetrieben. Das Gehäuse des Interferenzresonators (7) ist rotationssymmetrisch bezogen auf die vertikale Achse oder oval, je nach eingesetztem Lautsprecherchassis. In diesem Falle und optimalerweise ist er kegelförmig mit der Spitze nach unten. Am Kegelstumpf montiert ist ein möglichst breitbandig ausstrahlender elektrodynamischer Schallwandler (10). Das kegelförmige Gehäuse des Schallwandlers ist vibrierfähig und wird vom beschallenden unteren Interferenzresonator mit Schall beaufschlagt, welcher durch die Interferenzmusterbildung auf dem zu beschallenden Interferenzresonator um 90° abgelenkt wird und dieses Interferenzmuster (45) im Raum 360° vertikal projiziert. Interferenzresonatoren (17) sind gleichzeitig Beschallende und zu Beschallende und bilden durch Rückkopplung (20) des Beschallenden ein Generator-Resonator-System zur Erzeugung von zeitlich interferierenden Wellenfeldern (45). Auch der Einbau um 180° gedreht ist denkbar. Das Material des Interferenzresonators besteht aus einer äusseren Hülle, welche optimalerweise aus einer extrem dünnen Alu-Haut (7) besteht. Diese Haut erzeugt durch "Pumpen" der inneren Membran durch Resonanzen das entsprechende Interferenzmuster (35). Der Interferenzresonator (17) selbst beinhaltet folgende Baugruppen: Halter (5), äussere dünne Aluhaut (7), inneres Gehäuse aus Styropor o. ä. (8), Lautsprecher (10) mit Membran (9), Hochtöner (13), Membranaufhängung (15), Interferenzaktuator (11).

[0122] Das Gehäuse des Interferenzresonators hat folgende Funktionen:

1. Gehäuse für Schallwandler
2. Interferenzmusterbildner (35) durch die äusserste Hülle (7)
3. Resonator
4. Interferenzgesteuerte Schallumlenkeinheit der zeitlich kohärenten Schallwellen

Interferenzmusterbildung

[0123] Der erste Schritt zur Erzeugung von Interferenzmustern (35) besteht in der Anregung des inneren Styroporgehäuses (8) durch den Resonanzaktuator (11). Diesen Vorgang nennt man "stimulierte Emission". Um eine Verstärkung der Resonanzen zu erreichen, lässt man den Vorgang in dem Interferenzresonator ablaufen, d. h. die Schallwellen werden in

dem Kegel reflektiert und durchlaufen so den Interferenzresonator mehrmals – eine Kettenreaktion entsteht. Die entsprechenden Resonanzen sind so stark, so daß sich auf der äusseren vibrierfähigen Hülle ein Interferenzmuster entsprechend dem jeweils inkriminierten Musiksignals (35) bildet. Die austretenden kohärenten Schallwellen des beschallenden Interferenzresonators werden an diesem Interferenzmuster (Fig. 8) abgelenkt. Diese ändern sich nun von normalen amplitudencodierten Schallwellen zu interferierfähigen, interferenzmusterbildenden Schallwellen bez. der Zeitachse (38a + b).

Der Wellenfeldgenerator

[0124] Durch die multiple vertikale Anordnung der interferenzmusterbildenden Interferenzresonatoren entsteht optimalerweise eine beinahe zimmerhohe (1,60 m–1,70 m) hohe Säule (47). Zum Funktionieren des Wellenfeldgenerators kann die wirksame Säule auch kleiner sein: Mindestens zwei Interferenzresonatoren können einen Wellenfeldgenerator bilden. Die beispielhafte Säule besteht in diesem Fall aus ca. 10–15 Interferenzresonatoren. Es bildet sich so ein pulsierender Schall-Zylinder, welcher auf der einen Seite extrem dynamisch ist durch die Vielzahl an verwendeten Lautsprecherchassis. Dieser pulsierende Schall-Zylinder erzeugt einen 360° Rundumschall, welcher – dank der Zylinderform – keine resp. kaum Boden- oder Deckenresonanzen aufweist. Er erzeugt eine pulsierende, kohärente, nahezu zimmerhohe Schall-Linienquelle dank phasen-, – amplituden –, frequenzgleich abstrahlenden Interferenzresonatoren.

[0125] Die Abstrahlrichtung der einzelnen Interferenzresonatoren ist dabei parallel vertikal und wird durch das kegel- oder rotationssymmetrische Gehäuse des zu beschallenden Interferenzresonators um 90° omnidiagonal entlang der horizontalen Achse im Raum verteilt, so daß sich ein horizontal gebündelter 360° umlaufender Schallstrahl im Raum ausbildet, welcher mit Interferenzmustern belegt ist durch die Reflexion an dem Interferenzmuster des beschallten Interferenzresonators. Dieses pulsierende, kohärente, im extremen Maße dynamisch agierende Grundsystem erzeugt durch die beschriebenen Maßnahmen im Raum ein raumhohes, zeitlich kohärentes Interferenzmuster (43) analog zu optischen Holografie mit dem Unterschied, daß dieses System mit jeder Nanosekunde das Interferenzmuster wechselt abhängig vom Musiksignal. Das so entstehende Interferenzmuster ist raumhoch und kann das Original-Wellenfeld aus raumhohen Interferenzmaxima und -minima bilden.

[0126] Das so erzeugte Schallwellenfeld wird also nicht durch direkte Schallabstrahlung wie bei konventioneller Technik erzeugt, sondern wird quasi virtuell

im Raum projiziert und generiert mit Hilfe von Interferenzmustern gebildet auf den Interferenzresonatoren

[0127] In der Stereoaufstellung der Wellenfeldgeneratoren entstehen zeitlich-räumlich verschrankte Schallstrukturen (46) durch rückgekoppelte zeitliche Interferenzmuster, welche dem akustischen Musterbildungsprozess im Gehirn entsprechen (Fig. 11).

[0128] Dieses holografische Wellenfeld ist sowohl zeitlich als auch räumlich kohärent.

Die mathematische Sprache des Hologramms

[0129] Zentraler Bestandteil des erfindungsgemäßen Wellenfeldgenerators ist das DSP-Modul-Digital Signal Processor (25). Mithilfe von IIR-DSP's lassen sich phasenkorrigierte Filter realisieren, wie sie mit Analog-Technik nicht realisierbar sind.

[0130] Dies bedeutet, dass die unterschiedliche Ansteuerung der Lautsprecher und der Interferenzresonatoren sauber, phasenneutral und verzögerungsfrei realisiert werden kann. Man kann die verschiedenen Interferenzmuster berechnen, kontrollieren rückkopeln und weiterleiten.

[0131] Die dahinterliegende Mathematik ist ein Rechenmodus, den der Franzose Jean B. J. Fourier im 18. Jahrhundert erfunden hat.

[0132] Es ist ein Verfahren, das es erlaubt, jedes beliebige Muster, so komplex es auch sein mag, in eine Sprache einfacher Wellenformen umzuwandeln. Er wies zudem nach, wie sich diese Wellenform wieder in das ursprüngliche Muster zurückverwandeln lassen. Die Gleichungen werden als "Fourier-Transformationen" bezeichnet.

[0133] Vereinfacht ausgedrückt, wird bei der vorliegenden Erfindung das Eingangs-Audiosignal auf digitaler Ebene in mehrere Blöcke zerlegt. Der interferenzmusterbildende Block wird über das Signal gefaltet, errechnet und an den Interferenzresonator weitergeleitet.

[0134] Die schnelle Faltung ist ein Algorithmus zur Berechnung der diskreten, aperiodischen Faltungsoperation mit Hilfe der schnellen Fourier-Transformation. (FFT). Dabei wird die rechenintensive aperiodische Faltungsoperation im Zeitbereich durch eine wesentlich einfachere Multiplikation im Frequenzbereich ersetzt.

[0135] Dieses Verfahren hat seine Analogie im angenommenen Gehör- und Gehirnmodell. Dieses Modell wird als Grundlage aller Berechnungen und Blockschaltungen genommen.

Funktionsweise und Schallabstrahlung

[0136] Das gesamte System arbeitet nach dem Prinzip eines interferenzmustermodulierten nichtlinearen Systems. Es verhält sich wie ein selbsterregter Schwingen. Das nichtlineare Schwingensystem ist der Interferenzresonator, welcher sich durch Überlagerung von hin- und zurücklaufenden Wellen zur Resonanz aufschaukelt. Der Interferenzresonator bezieht dabei die nötige Energie durch eingebaute spezielle Endverstärker (21, 22). Die Anstöhung nun durch "normale" (10) Lautsprecher (amplitudencodiert) ist dabei das linare Element. Der austretende Schallstrahl (37, 37a) kann kippen und wird abgelenkt. Der dabei entstehende Druckpuls wird durch die Resonanz des Interferenzresonators verstärkt und wirkt auf den Luftstrom steuernd zurück. Geschieht dies im richtigen Takt, so wird eine kontinuierliche Interferenzmusterbildung angefacht. Der zu beschallende Interferenzresonator bildet dabei starke Resonanzen abhängig vom jeweiligen Musik-Signal aus (35) – sie sind so stark, dass sich Interferenzen auf der vibrierfähigen zu beschallenden Resonatorhülle bilden. Der Schall des beschallenden Interferenzresonators wird nun am zu beschallenden Interferenzresonator interferenzmoduliert reflektiert es entstehen zwei zeitlich interferierende Schallwellen im Raum (43a + b). Die zeitliche Differenz der beiden interferierenden Schallfelder beträgt ungefähr der Synchronisationszeit des Gehirns, in welcher die Rückkopplungsschleifen ausgewertet werden (49).

[0137] Es wirken die zwei Teilsysteme zusammen. Der Resonator ist mit dem Generator gekoppelt, der als aktives Element die Energiezufuhr steuert.

Das Einrasten interner Oszillatoren

[0138] Interferenzresonatoren (17) sind in der Lage, den Informationsstrom bestehend aus Interferenzmustern aktiv zu verändern; sie können neue Signale erzeugen als auch vorhandene unterdrücken. Wird das System nun durch das Signal eines Lautsprechers von aussen periodisch erregt, tritt bei schwacher Kopplung eine Überlagerung beider Schwingungen auf (Fig. 8). Schwebungsfrequenzen entstehen umso höher, je größer die Frequenzdifferenz ist. Schwebung ist Ausdruck einer linearen Überlagerung von Schwingungen. Erhöht man den Kopplungsgrad (Lautstärke!), so zeigt sich ein anderes Verhalten. Unterschreitet die Frequenzdifferenz einen gewissen Schwellenwert, dann ist das äußere Signal in der Lage, die Interferenzschwingung gewissermaßen auf sich zu ziehen. Die Schwebungsfrequenz verschwindet, und es ist nur noch eine einzige Interferenz-Frequenz vorhanden. Der Interferenzresonator schwingt nicht mehr selbstständig, sondern der Takt wird vom Antrieb vorgegeben. Das externe Signal zieht diese interne Schwingung mit und synchronisiert diese. Es tritt eine Phasenkopplung beider Schwingungen

ein, sie sind einander verschränkt oder eingerastet (38, 38a). Dieses Einrastphänomen der periodisch erregten aktiv schwingenden Interferenzresonatoren ist ein einfaches physikalisches Modell des aktiven Primärprozesses der Wahrnehmung. Auf dem wahrnehmenden biologischen Substrat laufen selbsterregte dynamische Prozesse ab. Diese äußern sich beispielweise als aktive Schwingungen wie im Innenohr. Aber auch die informationsträger des Nervensystems, die neuronalen Impulse, gehören in die gleiche Klasse selbsterregter Schwingungsphänomene und zeigen analoge Phasenkopplungseffekte. Durch das vibrierende Gehäuse der Interferenzresonatoren entstehen Resonanzen (35), welche im Takt der Musik Interferenzmuster auf der äußeren Hülle bilden.

[0139] Wird nun dieses Interferenzmuster (35), welches sich auf der äusseren Haut entsprechend durch starke Resonanzbildung gebildet hat und welches nun den ganzen vibrierfähigen Teil des Kegels einnimmt, durch parallele, kohärente, phasen- und amplitudengleiche Schallwellen (Fig. 8) beaufschlagt, zum Beispiel durch einen zweiten unter dem Interferenzresonator befestigten Interferenzresonator gleicher Bauart und gleicher Chassisanordnung, so werden im Raum diese Interferenzmuster projiziert. Sie bilden ein "akustisches Interferenzmuster" im Raum (Fig. 11).

[0140] Die erfindungsgemäße Lautsprecheranordnung als Wellenfeldgenerator besteht nun aus multipel angeordneten Interferenzresonatoren, optimalerweise wie in diesem Beispiel angesprochen aus 10–15 Interferenzresonatoren, wobei der beschallende Interferenzresonator den zu beschallenden Interferenzresonator mit parallelen, kohärenten Elementarwellen beaufschlagt. Diese kohärenten Schallwellen (37) generieren dann entsprechend der Interferenzmuster (35) die zeitlich interferierenden Schallwellen (38, 38a). Alle Interferenzresonatoren bilden gleichzeitig entsprechende Interferenzmuster (35) und werden mit parallelen oder annähernd parallelen Elementar-Schallwellen beaufschlagt. Das Ergebnis ist ein Schallwellenfeld (43a) welches folgende Eigenschaften aufweist:

- Zeitlich-räumliche Verschränkung der Schallwellenfelder
- vom Interferenzmuster abgelenkte Schallwellen bilden die notwendigen Raumanteile
- Holofone realistische Raumabbildung durch echte 3D-holografische Interferenzmusterbildung

Zeitliche und räumliche Interferenz

[0141] Echte holografische Wellenfelder (Fig. 13) können nur entstehen, wenn zeitliche und räumliche Interferenzbildung stattfindet. Da diese zeitlich-räumlich verschränkte Interferenzmusterbildung einerseits extrem wichtig ist für die Funktion des erfindungsgemäßen Lautsprechers, andererseits jedoch äußerst

schnell abläuft (im Millisekundenbereich), möchte ich anhand eines einfachen Beispieles diesen wichtigen Zusammenhang klären: Musterbildung aus chaotischen Anfangszuständen ist in der Natur allgegenwärtig. Die Musterbildung im Schall gleicht der Musterbildung im Sand, nur daß der Musterbildungsprozess im Sand naturgemäß wesentlich langsamer stattfindet.

Beispiel zeitliche Interferenz

[0142] Wir sind am Strand. Der Wind weht ausnahmsweise mal nicht. Ein kleiner Sandhaufen erregt unsere Aufmerksamkeit: Ich fotografiere ihn.

[0143] Zwei Tage später, derselbe Strand, derselbe Sandhaufen, Windstille. Wieder fertige ich ein Foto an.

[0144] Beim Übereinanderlegen der beiden Fotos erkenne ich, dass sich die Konturen des Sandhaufens verändert haben. Er ist insgesamt größer geworden und die zur Hauptwindrichtung gerichtete Seite ist steiler als auf der älteren Aufnahme. Als Ergebnis dieser Musterauswertung kann ich nun errechnen, dass in den zwei Tagen zwischen den Aufnahmen der Wind in einer Stärke 6 geweht haben muß. Außerdem muß es geregnet haben, anders ist die veränderte Form des Sandhaufens nicht zu erklären.

[0145] Ich habe also einen Mustervergleich durchgeführt, indem ich zwei Fotos übereinandergelegt habe. Der Vergleich führt zu Berechnungen und Ergebnissen, welche durch allgemeine Erfahrungen (Musterbildung des Gedächtnisses!) angereichert werden. Diese Resultate führen nun zu ganz anderen Ergebnissen (Wind hat geweht, es hat geregnet, zwischen den zwei Tagen liefen 3 Ameisen über den Hügel etc. pp.) als das Ein- und Ausgangssignal (die beiden Sandhaufen) hergegeben hat.

Beispiel räumliche Interferenz

[0146] Wir sind am Strand. Der Wind weht ausnahmsweise mal nicht. Ein kleiner Sandhaufen erregt unsere Aufmerksamkeit: Ich fotografiere ihn.

[0147] Zwei Tage später, derselbe Strand, derselbe Sandhaufen, Windstille. Wieder fertige ich ein Foto an.

[0148] Beim Übereinanderlegen der beiden Fotos erkenne ich, dass sich der Sandhaufen bewegt haben muß. Wenn ich nun das eine Foto leicht grün einfärbe mittels Farbbearbeitung im Photoshop und das andere leicht rötlich und wenn ich mir nun beide Fotos mit einer rot-grünen Brille betrachte, habe ich plötzlich ein dreidimensionales Bild des Sandhaufens vor mir. Dieser Effekt wird hervorgerufen durch das stereoskopische Verfahren, bei dem die räumliche Tie-

fenwirkung sichtbar gemacht wird. Als Ergebnis dieser Musterauswertung kann ich nun die Lokalisation des Sandhaufens abhängig von der Zeit festlegen. Auch bei diesem Mustervergleich können Erfahrungen und Berechnungen die Ergebnisse beeinflussen.

Bedeutung der Phase

[0149] Beim Übereinanderlegen der zu vergleichenden Fotos ist es natürlich extrem wichtig, dass diese exakt übereinanderliegen. Nur so können sie richtig miteinander verglichen werden. Wenn die Fotos auch nur um einige Millimeter ineinander verschoben sind, kommt es zu verfälschenden Ergebnissen. Diese "Phasenverschiebung" findet bei allen "normalen" Lautsprechern statt mit den erwähnten Resultaten.

Beispiel zeitlich-räumliche Verschränkung

[0150] Alles findet natürlich gleichzeitig und parallel statt: Man kann das Ereigniss "Sandhaufen verschiebt sich" nicht separieren. Man kann das Ereigniss an sich jedoch in kleinste Teilstücke zerhackstücken, diese Stücke als Muster übereinanderlegen, mit vorhandenen Muster ergänzen und nun miteinander vergleichen. Entscheidend für diese Art des Mustervergleichs sind drei Notwendigkeiten:

1. Die Muster dürfen sich niemals gleichen
2. Die räumliche Phase (Der Abstand, in dem die Muster übereinandergelegt werden), müssen auf atomarer Ebene passen.
3. Die zeitliche Phase muß mit der Synchronisationszeit des Gehirns übereinstimmen.

Zeitliche Interferenz beim Wellenfeldgenerator

[0151] *Fig. 9* zeigt die Entstehung der zeitlichen Interferenz. Die Interferenzresonatoren vibrieren im Takt der Musik. Die beschallenden Interferenzresonatoren beaufschlagen nun die zu Beschallenden mit der Musik. Die Schallwellen werden entsprechend des inkriminierten Musiksignals abgelenkt. Es bilden sich zwei Wellenfelder (**43, 43a**) im Raum, welche miteinander zum Gesamtwellenfeld (**45a**) interferieren.

[0152] Das Gesamtwellenfeld (**45a**) ist also eine Überlagerung aus zeitlich versetzten Wellenfeldern. Die zeitliche Versetzung t entspricht dabei der Synchronisation der Gehirnwellen.

[0153] (**49**) zeigt, wie das Gehirn zeitlich interferierende Wellenfelder rückkoppelt. Das "aktuelle" Schallwellenfeld wird mit dem Schallwellenfeld von vor ca. 0,2 Sekunden durch Rückkopplung verglichen resp. wieder als Eingangssignal (der vergangenen Interferenz) genutzt. Diese interferierenden Rückkopplungsmechanismen ist das Grundprinzip der natürlichen Informationsverarbeitung und Basis der Erfahrung.

[0154] Rückkopplungseffekte im Gehirn steuern die Selbstwahrnehmung. Sie finden bei allen Säugetieren statt, bei uns Menschen im Kleinhirn. So können zwischen externen und selbst erzeugten Reizen unterschieden werden und akustische Reizmuster können so überlagert und ausgewertet werden.

Räumliche Interferenz beim Wellenfeldgenerator

[0155] *Fig. 12* zeigt die Entstehung der räumlichen Interferenz. Es werden zwei Wellenfeldgeneratoren aufgestellt, wobei der eine WFG mit dem linken, der andere mit dem rechten Stereosignal beaufschlagt wird.

[0156] Das linke Stereosignal interferiert bereits zeitlich, das rechte entsprechend.

[0157] Beide Wellenfelder, also das linke und das rechte, überlagern (interferieren). Es entsteht ein Gesamt-Wellenfeld (**46**), welches sowohl zeitlich als auch räumlich interferiert.

Zeitlich-räumliche Verschränkung der Wellenfelder

[0158] Der Gesamtzustand dieses so entstehenden Systems definiert sich nicht durch die Zustände seiner Teilsysteme. Die Verschränkung ist Konsequenz des Superpositionsprinzips. Im Gegensatz zur klassischen "Addition von Intensitäten" wie in der linearen Weltanschauung werden hier "Amplituden und Phasen" superponiert (Überlagerungen von Wellenbergen und – tälern – Interferenz), wobei zusätzliche Beimischungen komplexer Wellenfunktionen weitere Komplikationen nach sich ziehen.

[0159] Im Grunde werden vom Wellenfeldgenerator keine Frequenzen im eigentlichen Sinne abgestrahlt, sondern es werden akustische Muster holografisch erstellt und im Raum projiziert.

Mustervergleich im Gehirn

[0160] Das Gehirn macht nun genau dasselbe, was wir am Sandstrand gemacht haben: Es "fotografiert" einzelne akustische Muster dieses verschränkten Systems. Diese "Fotos" werden nun übereinandergelegt. Zwischen den "Fotos" passen noch andere "Fotos", welche früher einmal gemacht wurden. Einige "Fotos" werden auch zur späteren Nutzung "archiviert" zur zukünftigen Musteranalyse.

[0161] Alle empfangenen Signale bilden in unserem Gehirn ein komplexes dreidimensionales Muster aus neuronal aktiven Verbindungen. Zusätzlich wird dieses Muster wenige Sekunden im Gehirn gehalten (wie ein Echo, welches immer leiser wird), sodass nicht nur der einzelne Augenblick sondern ein kleiner zeitlicher Ausschnitt aller Augenblicke in diesen vergangenen Sekunden in unserem Gehirn präsent sind.

[0162] Es werden nun Berechnungen gemacht, welche zum Ziel haben, die Lokalisation, die Klangfarbe etc. zu analysieren und einen Gesamtzusammenhang zu erstellen, aus dem hervorgeht, welches Instrument oder welche Person gerade was redet oder spielt, wobei die Abhängigkeit der Ohrsignale vom Schallquellenort als Mechanismus zur Codierung räumlicher und zeitlicher Information aufgefasst wird, dessen Kenntnis eine Decodierung der räumlichen und zeitlichen Information ermöglicht.

[0163] Lokalisation erfolgt nach diesem Modell über einen "Reizmustervergleich zwischen aktuellen Reizen und erlernten Reizmustern". (PLENZE 1973).

[0164] Versteht man die Abhängigkeit der Ohrsignale vom Schallquellenort als einen Mechanismus zur Codierung räumlicher und zeitlicher Information, so kann die Kenntnis dieser Ohrsignalabhängigkeit als Schlüssel zur Decodierung der räumlichen und zeitlichen Information aufgefasst werden. Im verschränkten Schallfeld stellt sich damit die Lokalisation als Prozess zur gleichzeitigen Decodierung verschiedener räumlicher und zeitlicher Informationen dar.

[0165] Er gelingt ganz (beim erfindungsgemäßen Wellenfeldgenerator), teilweise (Lautsprecher Stand der Technik), oder gar nicht, abhängig von Anzahl und Eigenschaften der eingesetzten Schallereignisse.

Erkennung von Instrumenten

[0166] Für die Erkennung von Instrumenten nutzt unser Gehirn nicht den Obertongehalt, also den Klang, sondern fast nur den sogenannten Einschwingvorgang, also z. B. die Art, wie der Hammer eines Klaviers die Saite trifft und wie dann der Schwingungsvorgang aufgebaut wird. Dieser Einschwingvorgang dauert nur wenige Millisekunden, dennoch nutzt das Gehirn genau diesen kurzen Zeitabschnitt zur Identifizierung. Wenn dieser Einschwingvorgang fehlt oder mangelhaft reproduziert wird (Lautsprecher Stand der Technik), können wir das Instrument nicht mehr erkennen resp. unser Gehirn muß "ziemlich viel rechnen", um aus den unvollständigen Informationen ein brauchbares Ergebnis zu bekommen.

[0167] Die Einschwingvorgänge haben eine sehr hohe Chaozität, was man z. B. durch fraktale Dimensionen messen kann. Man kann z. B. bei der Gitarre anhand der fraktalen Dimension den Klangcharakter daran messen. Der Einschwingvorgang – also die Phase der ersten Millisekunden – ist für den Klang eines Instruments bestimmend. Teile des Einschwingens verlaufen chaotisch.

[0168] Das Chaos ist eigentlich die Tatsache, dass das System an sich chaotisch wäre, aber die Musik-

instrumente so konstruiert sind, dass sie aus diesem Chaos herausfinden – was überhaupt keine Selbstverständlichkeit ist. Das Komplizierte an Musikanstrumenten (und an Wellenfeldgeneratoren!) ist, sie so zu bauen, dass sie aus diesem anfänglichen Chaos möglichst schnell in einen geordneten (verschränkten) Zustand finden.

[0169] Da der Wellenfeldgenerator ähnlich konstruiert wird, kann er mit Hilfe auftretender Interferenzen räumlicher und zeitlicher Natur diese Einschwingvorgänge ohne Zeit- und Qualitätsverlust wiedergeben.

Zu den Zeichnungen:

[0170] Fig. 1 zeigt das Original-Schallwellenfeld als Raum Zeit-Schall-Strukturverteilung (1). Wir sind die ganze Zeit umhüllt von dem sog. Schallraum. Dieser ist kugelförmig und reicht von den Ohren bis zur Hörgrenze.

[0171] Ständig wechselt die Druckverteilung der Luftmoleküle innerhalb dieses Schallraumes. Es bilden sich nach dem Chaos-Prinzip Schallstrukturen heraus, welche ein spezielles Muster bilden (4). Diese Muster ähneln einem Teich in dem man bei Regenwetter eine Handvoll Kieselsteine herein-schmeißt: Wellen überlagern sich, bilden Interferenzen (2). Es entstehen Interferenzmaxima und -minima. Die Wellen haben unterschiedlichste Größen.

[0172] Das Entscheidende daran: Es sind keine Frequenzen, die wir hören. Die Aufgabe des Ohres ist es, aus einem dreidimensionalen Musterfeld (Schallwellenfeld) (1) ein zweidimensionales Beugungsmuster zu erstellen. Dieses wird im Gehirn zusammen mit dem zweiten Beugungsmuster des anderen Ohres in elektrische Signale umgewandelt, übereinandergelegt und ausgewertet.

[0173] Diese Wellenfelder (1), welche sich zu jeder Mikrosekunde neu bilden, branden dem Hörer entgegen. Diese Wellenfelder beinhalten holografische Informationscodes, welches das Gehirn auswerten kann: Es sind die Wellenüberlagerungen, Interferenzen etc.

[0174] Fig. 2 zeigt den Aufbau des erfindungsgemäßen Wellenfeldgenerators. Multipel an geeigneten Haltern (6) befestigte Interferenzresonatoren (17) werden durch Mikrofone (14) in ihrer Resonanz überwacht und rückgekoppelt.

[0175] Fig. 3 zeigt eine Vorrichtung zur Ansteuerung und. Kontrolle des erfindungsgemäßen Wellenfeldgenerators, wobei es sich um einen Aktiv-Lautsprecher handelt, d. h. die direkt phasengekoppelten Endverstärker (21, 22) sind integrative Bestandteile des erfindungsgemäßen Lautsprechers.

[0176] Das Eingangssignal (18) wird von einem Lautstärkeregler (19) in der Lautstärke geregelt. Von dort geht das Signal, welches momentan noch linear ist, zum DSP-Controller (27). Dort wird es klangkorrigiert: Audiosignale und Interferenzmodulationen werden zu einer Eingangsschnittstelle übertragen, die zur Übertragung von Audiosignalen von einer Signalquelle vorgesehen ist, mit einem Filter zur Erzeugen von zeitlich veränderten Signalen und mit einem oder mehreren Signalprozessoren (27) (26) die das Audiosignal in seinem Frequenzverlauf verändern und aufspalten.

[0177] Passende, direkt an den Signalprozessor phasengekoppelte Endverstärker (21) (22), welche spezielle Verstärkungskurven beinhalten und unter phasenkorrekten Verhalten hin entwickelt worden sind, geben amplitudencodierte und phasencodierte Signale direkt an die elektrodynamischen Lautsprecher (10) respektive direkt an die Interferenzaktuatoren (11) ab. Die Hochtontsignale werden in diesem Falle von der amplitudenmodulierten Signalkurve abgezweigt, geregelt (25) und an die Hochtöner (13) weitergeleitet.

[0178] Spezielle Detektoren (14), welche in der Nähe der Interferenzresonatoren befestigt sind und erfundungsgemäß als Mikrofone ausgelegt sind, registrieren die Resonanzstärke (35). Diese werden im DSP-Modul mit speziellen Fourier-Transformationen verarbeitet und wieder in den Signalkreislauf eingespeist. Eine akustische Rückkopplung beginnt. Das ausgewertete Interferenzmuster wird vom Mikrofon aufgenommen, zum Lautsprecher übertragen, der zur Quelle des Interferenzmusters wird, den das Mikrofon aufnimmt und verstärkt. Rückkopplungsschleifen mit unterschiedlichen Zeitkonstanten (20), bei denen das Eingangssignal durch das tiefpassgefilterte Ausgangssignal geteilt wird, gleichen Phasendifferenzen aus und sorgen für eine höhere "Stabilität", für eine größere "Ruhe" des erzielten Wellenfeldes

[0179] Weiterhin sorgen diese Mikrofone dafür (14), daß die Interferenzresonatorhüllen (5) kontrolliert und geregelt werden. Sie regeln die Resonanzbildung an den Interferenzresonatorhüllen. Eine zu starke Resonanzbildung (35) kann u. U. zu starken Verzerrungen führen, welche den Musikgenuss deutlich trüben können. Dagegen kann eine zu schwache Resonanzbildung nicht den gewünschten holografischen Effekt ausbilden.

[0180] Die eingesetzten Endverstärkermodule (21, 22) sind spezieller Art: Mit herkömmlichen Transistorverstärkern können die Signale nicht interferenzfähig moduliert werden, da der Signal-Durchgang bei diesen Verstärkern stark phasenbezogen verändert wird: Gegenkopplungen, zu lange Anstiegsgeschwindigkeiten, Transistoren, Dioden etc. pp. stehen dieser Interferenzmodulation im Wege.

[0181] Es ist auch zu beachten, daß modellbezogen auf einige und/oder alle Maßnahmen der kontrollierenden Art verzichtet werden kann. Deutlich preiswerte/kleinere Wellenfeldgeneratoren können u. U. auf verschiedene Ansätze hin konstruiert werden. Hierzu zählt auch die interferenzmusterbildende äußere Haut des Wellenfeldgenerators, welche auch aus hartem/härterem Material bestehen kann. Die Ansteuerung wird dann anders vorgenommen resp. rein rechnerisch per schneller Fouriertransformation umgesetzt.

[0182] Fig. 4 zeigt den Stand der Technik der bisherigen direktabstrahlenden Schallwandler (28). Durch Reflexionsbildung (29) an Möbeln, Wänden oder Böden wird die akustische Musterbildung schon im Ansatz unterbunden.

[0183] Fig. 5 zeigt, dass auch kegel- oder omnidirektional abstrahlende Schallwandler (33) mit dieser Problematik behaftet sind.

[0184] Fig. 6 zeigt die grundverschiedenen Prinzipien im Vergleich auf: Stand der Technik – Schallwandler (6a). Erfindungsgemäßer Wellenfeldgenerator – Mustergenerator (6b).

[0185] Fig. 7 zeigt, wie die Musterbildung auf der äusseren Haut (7) des Interferenzresonators (17) funktioniert. Als Beispiel seien hier die chladnischen Klangfiguren angeführt: Ernst Chladni veröffentlichte 1787 die Schrift "Entdeckungen über die Theorie des Klangs", in der er so genannte Klangfiguren vorstellt. Er hatte herausgefunden, dass dünne Platten aus Metall auf eine ganz bestimmte Art und Weise schwingen. Diese Schwingungen (35) kann man durch Sand auf den Platten sichtbar machen. Um die Schwingungen zu erzeugen, verwendete Chladni einen Geigenbogen (36), den er an den Platten entlang strich. Dabei bildeten sich stehende Wellen aus. An den Knoten der Welle befindet sich die Platte in Ruhe. Dort sammelt sich der Sand, während er überall dort, wo die Platte vibriert, weggeschüttelt wird. Es ist jedoch nicht so, dass jeder Ton ein bestimmtes Muster (35) erzeugt. Vielmehr hängt das Muster von allen möglichen Faktoren ab.

[0186] Die Interferenzresonatoren (17) selbst sind schwingungsfähige Systeme. Sie werden mit Hilfe der Musteraktuatoren (11) im Takt der Musik zur Schwingung und zur Resonanzbildung angeregt. Dabei ist die Energieübertragung maximal. Der Interferenzgenerator bildet auf der äusseren Hülle Resonanzmuster ähnlich wie auf den chladnischen Klangfiguren nur nanosekündlich ändernd im Takt der Musik.

[0187] Es handelt sich hierbei um akustisch induzierte Brechungsindexmuster. Es sind reversible Strukturen, d. h. die Modulation des Brechungsindex kann

rückgängig gemacht oder wieder verändert werden. Aufgrund dieser Flexibilität und der darüber hinaus relativ großen nichtlinearen Materialantwort bei verhältnismäßig geringen Schallleistungen steilen akustisch induzierte Musterbildungsprozesse einen wichtigen Beitrag zur Interferenzmusterbildung innerhalb von Räumen dar.

[0188] Fig. 8 zeigt die Schallabstrahlung des Interferenzgenerators. Will man Interferenzerscheinungen erzeugen, müssen die Schallwellen kohärent sein (37). In diesem Fall sind die Schallwellen zeitlich kohärent: Sie sind dann nötig, wenn die Welle zu einer zeitlich verschobenen Kopie ihrer selbst kohärent sein soll. Die Schallwellen werden in einem aufgefächerten Bündel ausgesandt, die Wellen sind nicht parallel zueinander.

[0189] Hier ist noch einmal genauer gezeigt, wieso der Schall nicht räumlich kohärent ist. Alle Wellenzüge verlassen den Interferenzresonator zum Zeitpunkt 1 mit derselben Phase. Nun nehmen wir den Wellenzug, der sich genau vertikal ausbreitet, setzen uns darauf und bewegen uns mit diesem nach oben mit. Zum Zeitpunkt 2 haben sich alle Wellenzüge um die Entfernung von zwei Wellenlängen nach oben bewegt. Weil die beiden oberen sich aber in einem Winkel zum unteren ausbreiten, befinden sich deren entsprechende Nulldurchgänge nicht mehr auf einer Höhe mit dem der unteren Welle, sie hinken hinterher, eine Phasendifferenz ist entstanden. Diese Phasendifferenz wird im weiteren Fortschreiten der Welle immer größer (Zeitpunkt 3).

[0190] Fig. 8 nun zeigt die Interferenzresonatoren zum Zeitpunkt des Signaldurchgangs: Die äußeren Hüllen werden zur Resonanz angeregt. Die beschallenden Interferenzresonatoren beaufschlagen nun die zu beschallenden mit zeitlich kohärenten Schallwellen. Diese werden um 90° im Raum 360° reflektiert. Da diese jedoch – bedingt durch die Musterbildung durch die Musik auf den Interferenzresonatoren – unterschiedliche Laufzeiten haben, kommt es zur gewünschten Interferenzbildung auf der Zeitebene. Die Punkte A, B und C befinden sich nun auf den jeweiligen Interferenzmaxima, -minima oder "zwischen den Bergen".

[0191] Fig. 9 zeigt die Frequenzüberlagerung der einzelnen Schallwellenzüge (38, 38a) abhängig vom jeweils inkriminierten Musiksignal. Das Signal (38) hinkt zeitlich etwas dem Signal (38a) hinterher. Das resultierende überlagerte Signal (39) ist das jeweilige zeitliche Interferenzsignal.

[0192] Fig. 10 zeigt die Bildung zeitabhängiger Interferenzmuster, wobei t die zeitliche Anlogie zur Gehirnwellensynchronisation ist.

[0193] Fig. 11 zeigt die zeitliche Interferenzbildung (43a, 43b). Aus zeitlich interferierenden linken und rechten Schallwellenfeldern bildet sich ein Schallwellenfeld (45a), welches zeitlich verschränkt ist.

[0194] Fig. 12 zeigt die räumlich zeitliche Interferenzbildung, bei dem das interferierende linke Schallwellenfeld (45a) mit dem rechten interferierenden Schallwellenfeld (45b) zum räumlich-zeitlich verschränkten Wellenfeld (46) interferiert.

[0195] Fig. 13 zeigt das Schallwellenfeld von oben.

[0196] Fig. 14 zeigt die Bildung EINES Wellenfeldes aus ZWEI Wellenfeldgeneratoren.

[0197] Fig. 15 zeigt die Bildung EINES Wellenfeldes aus VIER Wellenfeldgeneratoren. Der einzige Unterschied: Das verschränkte Schallwellenfeld ist intensiver in der Wahrnehmung.

[0198] Fig. 16 demonstriert den Präzedenz-Effekt mit normalen Lautsprechern – Stand der Technik.

Vorteile der Erfindung

[0199] Im Raum stehen zwei normale, in diesem Fall 1,70 hohe, Wellenfeldgeneratoren. Diese stehen in normaler Stereoafstellung, d. h., die zwei normalen Audiosignale – links und rechts – werden an die jeweiligen Lautsprecher weitergereicht. Es handelt sich hierbei um konventionelle Signale, welche auf jedem handelsüblichen Datenträger zu finden sind. Es sind zur Ansteuerung der Wellenfeldgeneratoren also keine speziellen Musikaufnahmen notwendig.

[0200] Als optimal haben sich Audiosignale von handelsüblichen CD's herausgestellt. Die erforderliche schnelle Signalanstiegs geschwindigkeit ist hier gegeben. Analoges Musikmaterial (z. B. Schallplatten) wird ebenfalls holografisch wiedergegeben, jedoch nicht so intensiv wie digitales Material.

[0201] Wenn die Lautstärke unter einem gewissen Pegel ist, funktioniert der Wellenfeldgenerator wie ein ganz normaler Lautsprecher: Das Audiosignal wird linear übertragen. Holografische Wiedergabe ist nicht oder kaum zu verzeichnen. Die Lautstärke entspricht jetzt ungefähr der Hintergrundberieselung in Warenhäusern. Eine Frequenz-Kopplung ist nicht möglich, da die Resonanzschwelle noch nicht erreicht ist.

[0202] Anders sieht es aus, wenn die Lautstärke erhöht wird: Schwebungsfrequenzen entstehen umso höher, je größer die Frequenzdifferenz ist. Erhöht man die Lautstärke, so entstehen Schwebungsfrequenzen, welche die Interferenzschwingungen an sich ziehen.

[0203] Die Schwebungsfrequenz verschwindet, und es ist nur noch eine einzige interferenzmodulierte Frequenz vorhanden. Der Interferenzresonator schwingt nicht mehr selbstständig, sondern der Takt wird vom Antrieb vorgegeben. Das externe Signal zieht diese interne Schwingung mit und synchronisiert diese. Es tritt eine Phasenkopplung beider Schwingungen ein, sie sind einander verschränkt oder eingerastet.

[0204] Es entstehen nun (pro Kanal!) zwei ein wenig verschobene akustische Beugungsmuster. Ein Beugungsmuster "normal" und eins etwas verschoben. An dieser Differenz lagern sich an bestimmten Stellen mehr Luftmoleküle an, welche an anderen Stellen fehlen. (Interferenzminima-maxima).

[0205] Das Ergebniss: Egal wie groß der Raum ist; das Zimmer explodiert. Nicht laut, aber die Wände sind nicht mehr vorhanden (der Lautsprecher auch nicht!). Die Wände sind eingerissen, man ist im Konzertsaal. Die Ortung der einzelnen Instrumente ist absolut realistisch, nachvollziehbar und Größenkorrekt. Punktgenau steht das Instrument im Raum. Stimmen werden aufnahmerelevant wiedergegeben. Keine "Hallsaucenbildung" wie bei omnidiirektionalen Lautsprechern üblich. Der virtuelle Raum wird absolut echt dargestellt: Kleine Besetzungen in kleinen Räumen werden klein wiedergegeben; epische Opern liegen in voller Ausdehnung vor einem; Rockkonzerte werden entsprechend dargestellt. Die Dynamik ist dank der Vielzahl an vorhandenen "Motoren" (Lautsprecherchassis) so explosiv wie bei teuren- und riesigen-Hornsystmen – aber ohne deren systemimmanente Nachteile.

[0206] Und doch ist da noch mehr: Die Klangfarbe wird erstmals als "echt" wahrgenommen. Eine schillernde, oszillierende akustische Darstellung des Ereignisses "Konzert" tritt ein.

[0207] Die Diskriminationsfähigkeit für die Bestandteile komplexer Klänge hat der deutsche Physiker OHM in seinem "akustischen Grundgesetz" beschrieben. Neben dem Grundton erzeugen fast alle Musikinstrumente eine mehr oder weniger große Zahl weiterer Schwingungen, die zur Frequenz des Grundtones im festen Verhältnis stehen und die wir als "Obertöne" bezeichnen. Je nach Anzahl und Intensität der Obertöne entstehen daher bei verschiedenen Instrumenten jeweils charakteristische Wellenformen, die wir subjektiv als die typischen "Klangfarben" dieser Instrumente wahrnehmen. Durch die variierenden, schillernden Klangfarben der Instrumente können sehr unterschiedliche akustische Eindrücke entstehen, auch wenn verschiedene Instrumente die gleiche Melodie in der gleichen Tonart und Tonhöhe spielen. Der gezielte Einsatz der unterschiedlichen Klangfarben ist ein wichtiger Faktor der "Instrumentierung" bei der Komposition von Musikstücken.

Durch eine Imitation der Wellenformen lassen sich Klangfarben natürlicher nachbilden.

[0208] Das Ergebniss: Die vorgeschlagenen Lautsprecher – Wellenfeldgenerator – sind im Grunde keine Lautsprecherboxen, sondern verhalten sich eher wie ein Wurmloch ins Konzert. Eine Zeitreise hin zu damals, als das Konzert stattfand. Eine Lücke im Universum. Eine Holografie eines Konzertes. (Egal ob Brahms oder Rolling Stones). Eine exakte Darstellung des eigentlichen Ereignisses "Konzert".

[0209] Die holofonische Wiedergabe betrifft:

- Klangfarbe. Sie wird als realistisch und livemäßig empfunden
- Ortbarkeit der einzelnen akustischen Ereignisse. Punktgenau lassen sich diese verfolgen. Die Wiedergabe ist nicht mehr phantomschallquellen-basierend, sondern virtuell.
- Rekonstruktion des Aufnahmeraumes. Da keine störenden Wand, – Boden, – Decke, – Reflexionen, Absorbtionen Modenbildungen mehr stattfinden, kann die während der Aufnahme aufgezeichnete Rauminformation besser und ungestörter transformiert werden.

[0210] Konkret bedeutet dies: Ein Konzert wird raumgreifend, extrem weitläufig wiedergegeben, wobei jedoch keine Hallsaucenbildung stattfindet Im Gegenteil: Akustische Einzelereignisse werden großentkorrekt und punktgenau auf einer extrem breiten und tiefen Bühne präsentiert. Wenn nun eine kleine Jazzbesetzung in einem winzigen Keller spielt, wird auch dieser Raum so wiedergegeben. Die Raumabbildung ist also nicht mehr von den Fehlern bisheriger Lautsprecher abhängig.

Experimenteller Beweis der holografischen Funktionsweise des Wellenfeldgeneratores

[0211] Die holografische Codierung besagt nun, daß man ein Hologramm in mehrere Teile zerschneiden kann. Wenn man nun ein zerschnittenes Hologrammstück mit dem Laser durchleuchtet, erscheint das abgebildete Objekt wider als Ganzes. Selbst wenn man ein Hologramm – z. B. – eines Apfels in immer kleinere Bilder zerschneiden würde, würde jedes noch so kleine Teilstück das Bild eines dreidimensionalen Apfels zeigen. Allerdings wird die Abbildung unschärfer, ungenauer. Auch das akustische Gegenstück, der Wellenfeldgenerator, funktioniert nach ähnlichen Prinzipien.

Konventionelle Lautsprecher und der Präzedenz-Effekt

[0212] Der Präzedenz-Effekt ist ein psychoakustischer Effekt. Er besagt Folgendes: Trifft das gleiche Schallsignal zeitverzögert aus unterschiedlichen Richtungen beim Hörer ein, nimmt dieser nur

die Richtung des zuerst eintreffenden Schallsignals wahr.

[0213] Mit anderen Worten: Wenn ich im Raum zwei Lautsprecher aufstelle, von dem der eine das linke Signal, der andere das rechte Schallsignal aussendet, höre ich die Musik, wie bei normalen konventionellen Lautsprechern üblich, aus dem so gebildeten Stereodreieck. Die beiden Boxen begrenzen dabei den virtuellen Schallraum.

[0214] Stelle ich nun – im Abstand von ca. 50 cm – pro Seite zwei Lautsprecher anstatt einer Box auf und sende das linke Signal auf die zwei links stehenden Boxen, das rechte entsprechend auf die andere Seite, so höre ich die aussen stehenden Boxen nicht mehr. Es werden nur noch die innen stehenden Lautsprecher wahrgenommen. Der Schallraum reduziert sich also um einen Meter.

Der Wellenfeldgenerator und der Präzedenz-Effekt

[0215] Stelle ich nun – anstelle der normalen Lautsprecherboxen – den Wellenfeldgenerator in beschriebener vierfacher Aufstellung im Raum auf, ändert sich am wahrgenommenen Schallraum – nichts! Es kann keine Verschiebung Richtung innen stehender Wellenfeldgeneratoren wahrgenommen werden. Der Präzedenzeffekt gilt hier nicht mehr.

[0216] Der abgebildete Raum bleibt größtmäßig genauso groß wie in der zweifachen Aufstellung. Die Ortbarkeit der einzelnen akustischen Ereignisse bleibt genau gleich.

[0217] Der Effekt ist ein anderer: Die wahrgenommene "Klangfarbenintensität" wird in dramatischer Weise "echter". Die innere Dynamik der Klangschattierungen werden stärker herausgearbeitet.

[0218] Das Schallereignis besitzt keine Zeitverzögerung mehr, da die holografische Codierung holografische, rückkoppelbare Wellenfelder erzeugt, welche auch räumlich verschränkt sind.

Der Vorteil des Wellenfeldgenerators

[0219] Der Wellenfeldgenerator gibt das Schallwellenfeld so wieder, wie es auch in der Natur vorkommt. Die Bildung von Interferenzmustern und die Überlagerung von Wellenfeldern ist in der Natur etwas ganz Normales. So normal, daß die Sinne (Ohr) und das Gehirn aufgrund dieser Musterbildung funktionieren. Die Basis allen Seins ist die Auswertung der im Interferenzmuster versteckten Informationen.

[0220] Das Schallwellenfeld basiert auf holografischen Prinzipien. Das Ohr ist darauf spezialisiert, interferenzmusterbasierende Schallwellenfelder zu dekodieren und in elektrische Signale umzuwandeln.

[0221] Das Gehirn funktioniert nach den neuesten Forschungen holografisch – elektrische Wellen werden nach diesem Prinzip dekodiert.

[0222] Der erfindungsgemäße Wellenfeldgenerator bereitet nun die Schallwellen so auf, daß das Gehirn keine Zeit vergeuden muß, um akustische Signale erst "Gehirntauglich" zu machen. Wie Zahnräder rasen alle Elemente ein – Lautsprecher, Ohr, Gehirn – und bieten so ein neues Klangerlebnis.

[0223] Die Beschriebenen sind nur einige bessere und bevorzugte Ausführungen der vorliegenden Erfindung, die sich keinesfalls nur darauf beschränken. Alle Modifikationen oder Änderungen, die unter den gleichen Gedanken und Ideen dieser Erfindung gemacht werden, werden in diese Erfindung mit eingeschlossen und gehören zu dem Schutzanspruch dieser Erfindung.

[0224] Lautsprecherboxen unter Verwendung von Kegeln als Reflexionskörper sind an sich bekannt, damit wird jedoch kein Wellenfeldgenerator geschaffen.

Gewerbliche Nutzung

[0225] Die vorliegende Erfindung ist in erster Linie als High-End-Lautsprecher gedacht, er kann allerdings auch in abgeänderter Form als Lautsprecher eingesetzt werden, wo es aufgrund extremer Raummodenbildung (z. B. hallige Räume) zu Problemen kommt. Auch in professionellen Bereich (Konzerten) kann dieser Wellenfeldgenerator aufgrund der optimierten Schallführung zum Einsatz kommen.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|---|
| 1 | Zeitlich-räumlich verschränkte Wellenfelder |
| 2 | Interferenzbildung |
| 3 | Schallraum |
| 4 | Akustische Muster |
| 5 | Wellenfeldgenerator-Halter |
| 6 | Interferenzresonator-Träger |
| 7 | Äußere Vibrierfähige Hülle |
| 8 | Innere Hülle |
| 9 | Membran |
| 10 | Schallwandler |
| 11 | Interferenzmuster-Aktuator |
| 12 | Ansteuerung Aktuator – innere Hülle |
| 13 | Hochtöner |
| 14 | Mikrofon |
| 15 | Sicke |
| 16 | Blechgehäuse Lautsprecherchassis |
| 17 | Interferenzresonator |
| 18 | Eingangssignal |
| 19 | Lautstärkeregler |
| 20 | Über-Alles-Rückkopplung |
| 21 | Verstärker Lautsprecher |
| 22 | Verstärker Aktuator |

23	Modulator Zeitachse	Hugo Zuccarelli: Ohren hören durch Töne. New Scientist, 438-440 1983 und US-Patent Nr. 4680856
24	FIR-Filter	WIKIPEDIA – Die freie Enzyklopädie: Transienten, Musterbildung, Chaostheorie
25	DSP-Steuerung	Georg Plenge: Über das Problem der intracranialen Lokalisation von Schallquellen bei der akustischen Wahrnehmung des Menschen. Habschr. Berlin 1973
26	DSP-Steuerung Aktuator	Günther Theile: Über die Lokalisation im überlagerten Schallfeld. Dissertation, Berlin 1979
27	DSP-Steuerung Lautsprecher	Helmut Oellers: Synthetic wave audio. 2011 Erfurt-Bindersleben
28	Lautsprecher – Stand der Technik – Direktstrahler	Manfred Euler: Biophysik des Gehörs. Biologie in unserer Zeit./26. Jahrg. 1996/Nr. 3
29	Reflektierende Schallwellen	Manfred Spitzer: Musik im Kopf: Hören, Musizieren, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk 2005
30	Unerwünschte Interferenzbildung an Hochtöner	Prof. Dr. Theo Geisel: Dynamical Synapses Causing Self-Organized Critically in Neural Networks. Göttingen, Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organisation
31	Lautsprecher	Ulrich Karrenberg: Signale-Prozesse-Systeme: Eine multimediale und interaktive Einführung in die Signalverarbeitung. Springer. Berlin 2009
32	Hochtöner	Prof. Dr. Hans-Jürgen Stöckmann: Von Einstein zum Quantenchaos. Vortrag vom Februar 2005/ 20. Hochschultage Physik/Marburg
33	Stand der Technik – Omnidirektional abstrahlender Lautsprecher	Tobias Augustin: Zur Wahrnehmbarkeit von Klangfarbenänderungen bei Wellenfeldsynthese. Diplomarbeit IRT/TU München 2004
34	Omnidirektionale Schallwellen	
35	Akustische Interferenz-Muster auf Resonatoren	
36	Resonanzerzeuger	
37	Kohärente Schallwellen	
37a	Kohärente Schallwellen	
38	Zeitlicher Versatz durch akustische Musterbildung auf Resonatoren	
38a	Zeitlicher Versatz durch akustische Musterbildung auf Resonatoren	
39	Frequenz Ohrwahrnehmung	
40	Frequenz Abstrahlung Lautsprecher – Stand der Technik	
41	Frequenz eines Klanges	
42	Akustische Musterbildung (Einhüllende der Frequenzen)	
43	Zeitliche Interferenzmusterbildung	
43a	Zeitliche Interferenzmusterbildung	
44	Rückkopplung der Interferenzmuster	
45a	Resultierendes linkes zeitlich interferierendes Wellenfeld	
45b	Resultierendes rechtes zeitlich interferierendes Wellenfeld	
46	Räumlich-zeitlich-verschränktes Wellenfeld	
47	Wellenfeldgenerator	
48	Wahrnehmender Schallstrahl – Stand der Technik	
49	Interferenzrückkopplung	

Literatur:

Ernst Florens Friedrich Chladni: Entdeckungen über die Theorie des Klanges. Leipzig 1787
 Gabriel Weinreich, Professor Emeritus at the University of Michigan. Erfinder "Directional Tone Colour" US-Patent Nr. 6263083.
 Günter Küppers: Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft. Reclam, Ditzingen 1996, ISBN 3-15-009434-8
 Ilya Prigogine: Die Gesetze des Chaos. Insel, Frankfurt 1998 ISBN 3-458-33885-3
 Karl Pribram: Gehirn und Vorstellung. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Teilnehmer ISBN 0898599954

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 4680856 [0096]
- US 6263083 [0107]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- P. Boulez, Proc. 11ter internationaler akustischer Kongress, 8, 216, Paris 1983 [0032]
- "Reizmustervergleich zwischen aktuellen Reizen und erlernten Reizmustern". (PLENGE 1973) [0163]
- Ernst Chladni veröffentlichte 1787 die Schrift "Entdeckungen über die Theorie des Kllangs" [0185]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung und Abgabe zeitlich-räumlich verschränkter holofoner Wellenfelder (46), welche sich aus nichtlinearen, chaotischen Anfangszuständen bilden und welche dem neuronalen Musterbildungsprozess entsprechen, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese räumlich-zeitlich verschränkten Schallmuster Musik-Eingangssignalabhängig durch Interferenzreflexion- und Projektion an und durch geeignete Interferenzresonatoren gebildet werden.

2. Lautsprecher als Interferenzresonator (17) dadurch gekennzeichnet, daß dieses Lautsprecherchassis (10), also elektrodynamischer-, magnetostatischer-, elektrostatischer-, Piezo-, Koax-, Breitband-, horngetriebener-, elektromagnetischer-, Biegewellen-, -Schallwandler mit möglichst paralleler Schallabstrahlung, möglichst kohärentem (37) und breitbandigem Abstrahlverhalten mit Hochton, Mitteltönen, Grundton und Bassanteilen, bestehend aus möglichst einem Chassis welches eingebaut wird in ein optimalerweise vibrierfähiges, rotations-symmetrisch entlang einer vertikalen Achse gedrehtes oder ovales, idealerweise kegelförmiges Gehäuse (7), auf welchem ein durch starke Resonanzen hervorgerufenes Interferenzmuster induziert wird (35), welches dem Musik-Eingangssignal (18) entspricht, dadurch gekennzeichnet, dass das idealerweise kegelförmige Gehäuse als Reflektor und Projektor der durch diese Maßnahmen interferenzmustermodulierten Schallwellen (38, 38a) der beschallenden Interferenzresonatoren dient.

3. Lautsprecher als Interferenzresonator nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, daß er gleichzeitig Beschallender und zu Beschallender Lautsprecher ist.

4. Lautsprecher als Interferenzresonator nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass das idealerweise kegelförmige Resonatorgehäuse selbst zur Erhöhung des Wirkungsgrades aktiv Schallwellen 360° omnidirektional ausstrahlen kann.

5. Lautsprecheranordnung als akustischer Wellenfeldgenerator zur Erzeugung und Abgabe zeitlich interferierender Schallwellenfelder (43) bestehend aus multipel übereinander angeordneten Interferenzresonatoren welche den kohärent ausgestrahlten Schall (37, 37a), welcher dem Eingangssignal entspricht, durch Reflexion um 90° zur vertikalen Hauptabstrahlrichtung am angeschaltten Interferenzresonator (17), welcher durch das Musiksignal entsprechend Interferenzmuster aufweist (35), interferenzmoduliert wird hinsichtlich der Zeitachse dadurch gekennzeichnet, dass dieser Schall, welcher Interferenzmusterbelegt ist, durch die interferierenden Interferenzresonatoren im Raum 360° akustisch projiziert wird.

6. Lautsprecheranordnung nach Anspruch 5 dadurch gekennzeichnet, dass diese Anordnung in Stereoausstellung das zeitlich verschränkte linke Schallwellenfeld mit dem zeitlich interferierenden rechten Schallwellenfeld zu einem gemeinsamen dreidimensionalen, holografischen, zeit- und räumlich interferierenden Schallwellenfeld verschränkt wird.

7. Lautsprecheranordnung nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass dieser aus einem Schwingungserzeuger (Generator) und einem Schwingungsverstärker (Resonator) besteht.

8. Lautsprecheranordnung nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, dass dieser Generator-Resonator ein aktiver Lautsprecher ist mit getrennten integrierten phasenoptimierten Endverstärkern für den Generator und Resonator.

9. Lautsprecheranordnung als akustischer Wellenfeldgenerator gemäß Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass zwei oder mehr WFG's pro Kanal aufgestellt werden können mit dem Ziel, die Musterbildung des nach Anspruch 1 definierten Wellenfeldes zu intensivieren dergestalt, dass das so gebildete akustische zeitlich-räumlich verschränkte Wellenfeld als wesentlich dramatischer wahrgenommen wird.

10. Verfahren zur Korrektur, Kontrolle und Beeinflussung von Audiosignalen, bei dem Audiosignale von einer Signalquelle über eine Eingangsschnittstelle an eine Vorrichtung zur mikrofongesteuerten rückgekoppelten Klangkorrektur von Audiosignalen übertragen wird und diese klangoptimierten Signale an die Interferenzresonatoren weitergeben werden dergestalt, dass eine akustische Kontrolle der vom Resonator abgestrahlten Interferenzen stattfindet, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontrollsignale mit dem Eingangssignal rückgekoppelt werden, um eine gesteuerte Interferenzbildung ohne akustische Verzerrungen der Interferenzresonatoren zu erhalten.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Fig. 1 Original-Konzertereignis

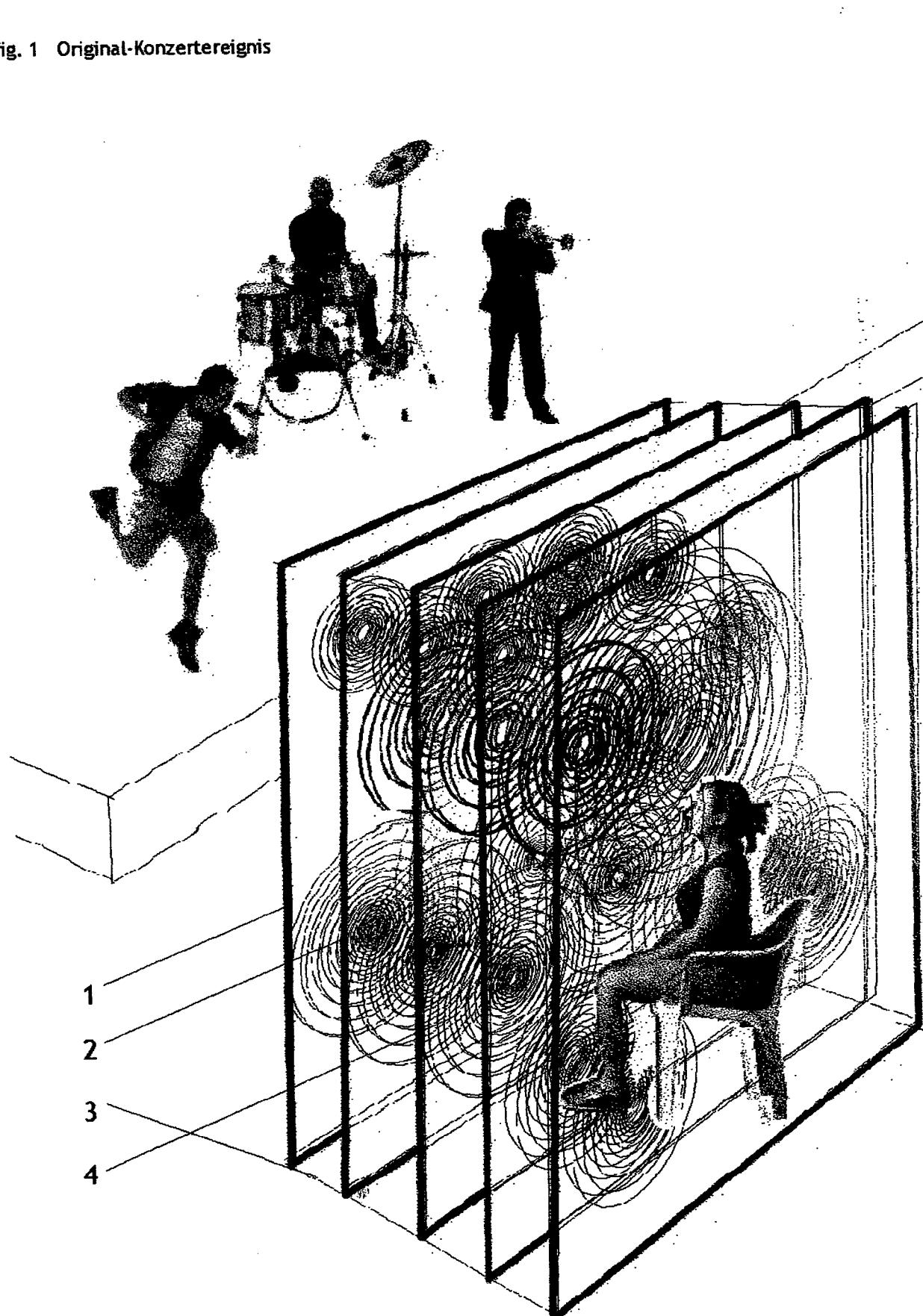


Fig. 2 Konstruktion Wellenfeldgenerator

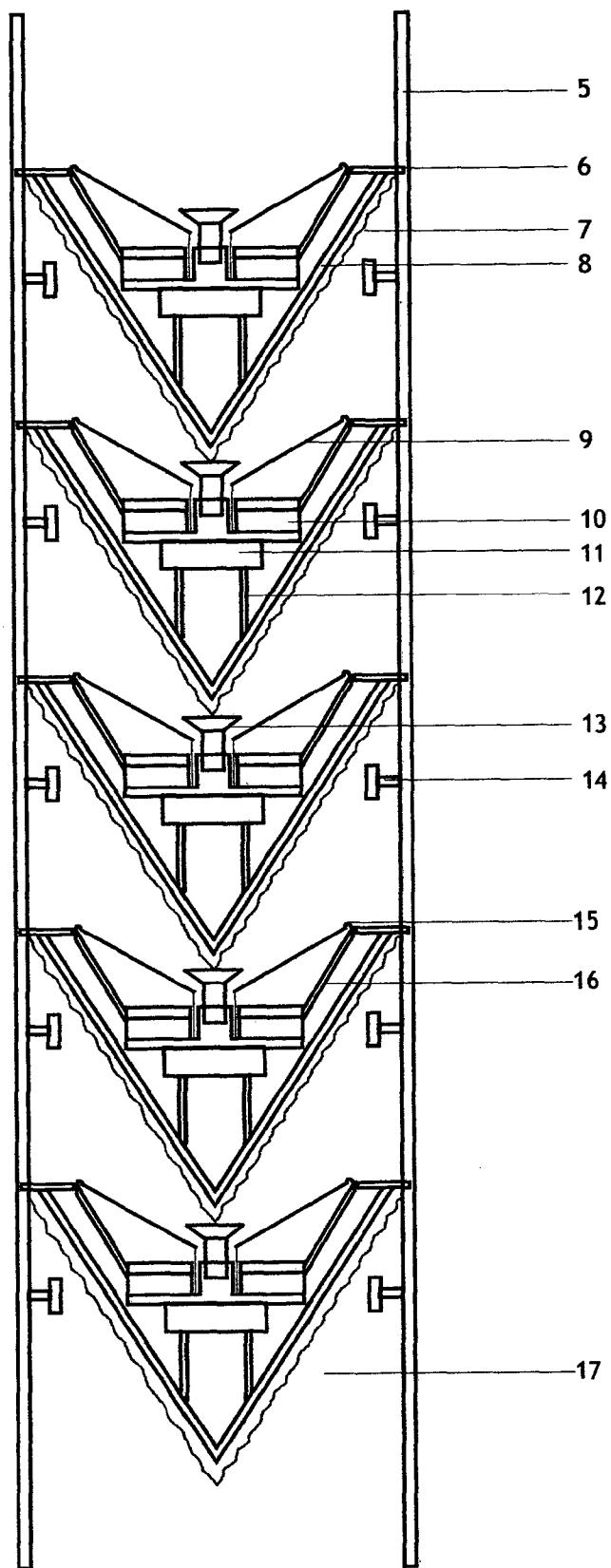


Fig. 3 Logikplan Wellenfeldgenerator

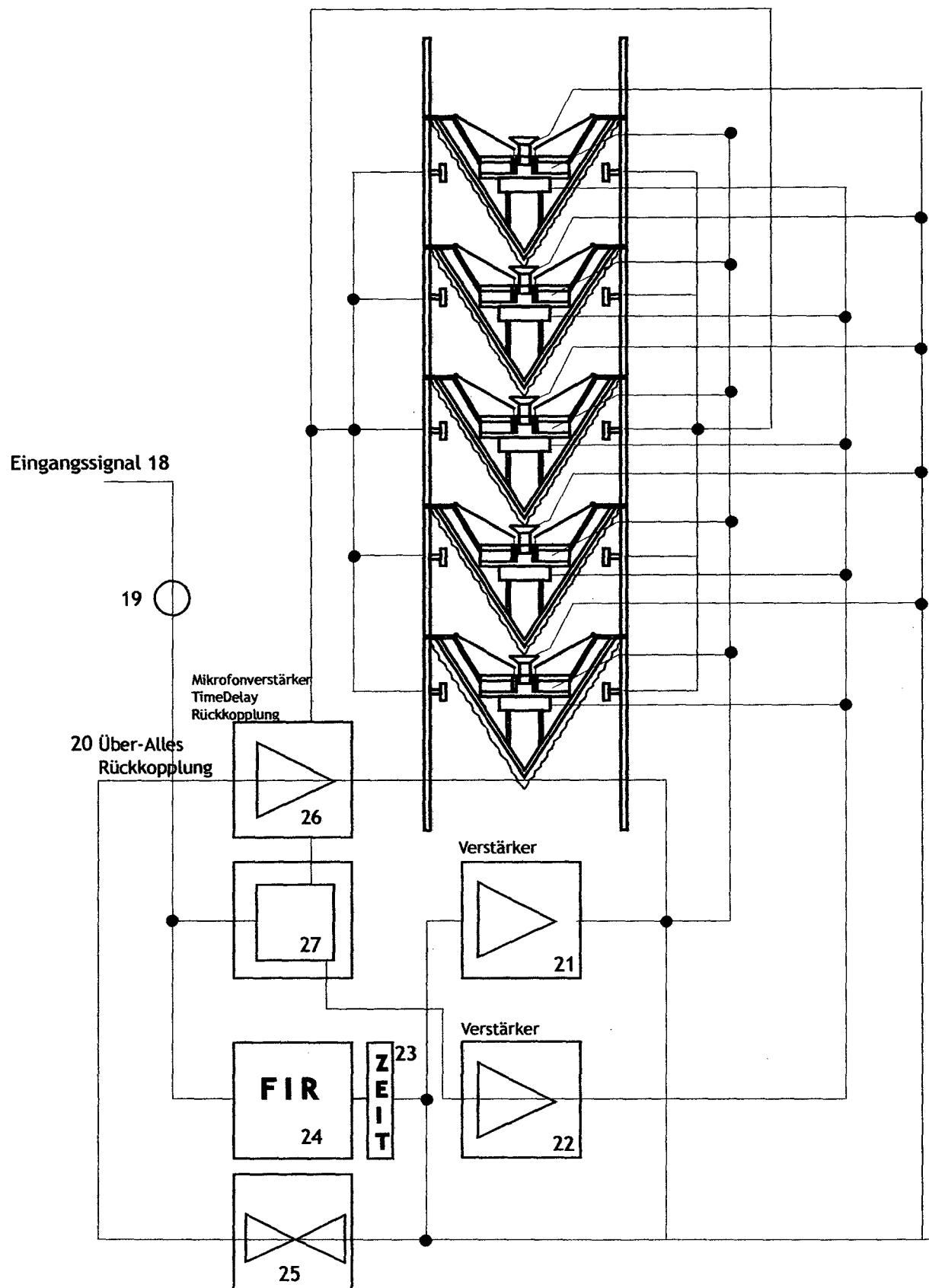


Fig. 4 Stand der Technik - Direktstrahler

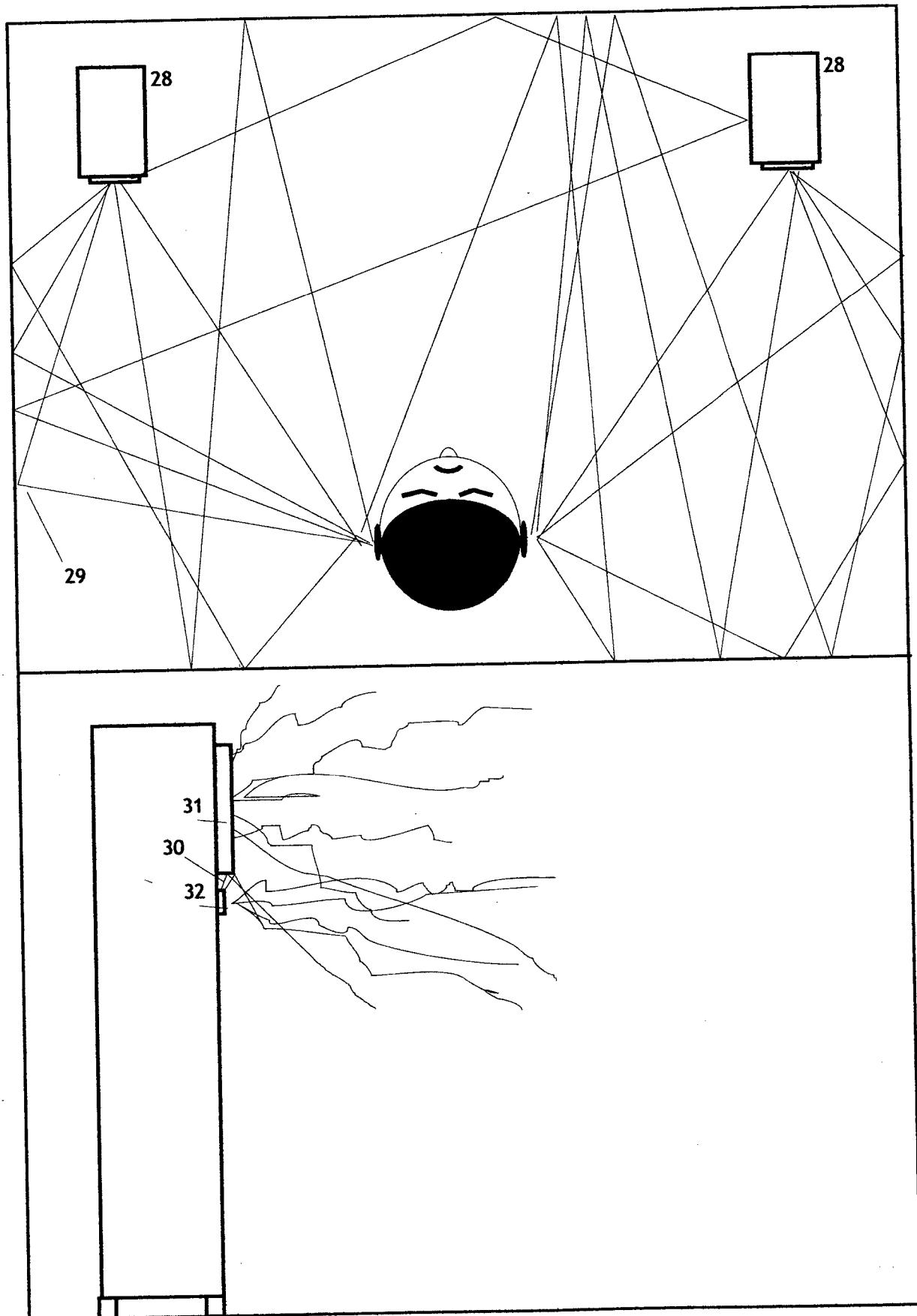


Fig. 5 Stand der Technik - Kegelstrahler und Omnidirektionale Strahler

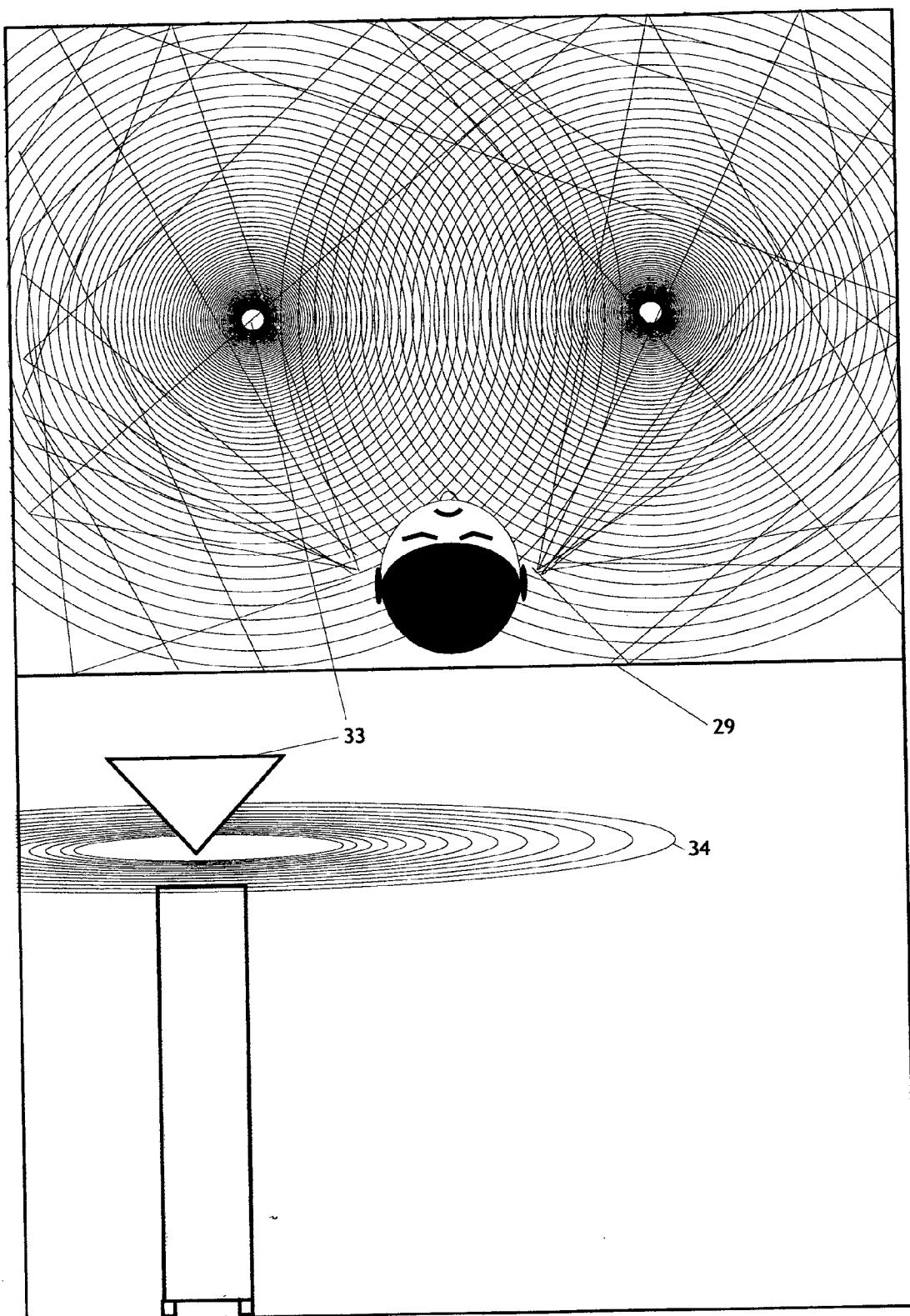


Fig. 6 Unterschiedliches Prinzip

Fig. 6a Stand der Technik - Schallwandler

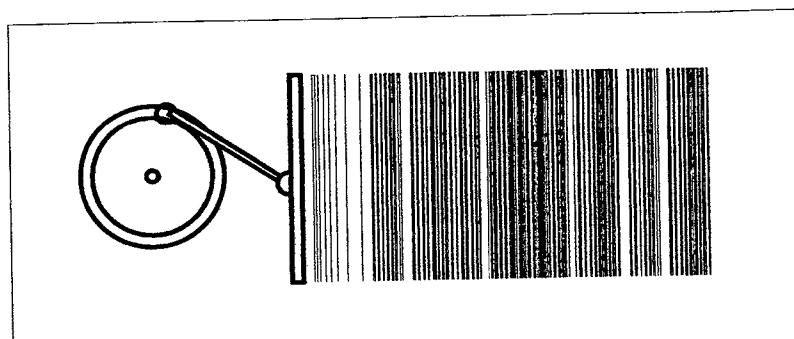


Fig. 6b Prinzip erfindungsgemäßer Wellenfeldgenerator

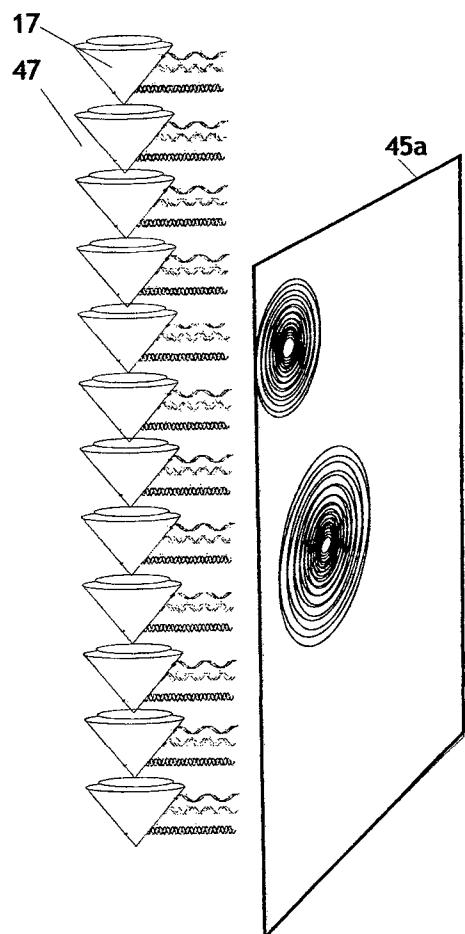


Fig. 7 Entstehung von akustischen Mustern durch Resonanzbildung auf den Interferenzresonatoren

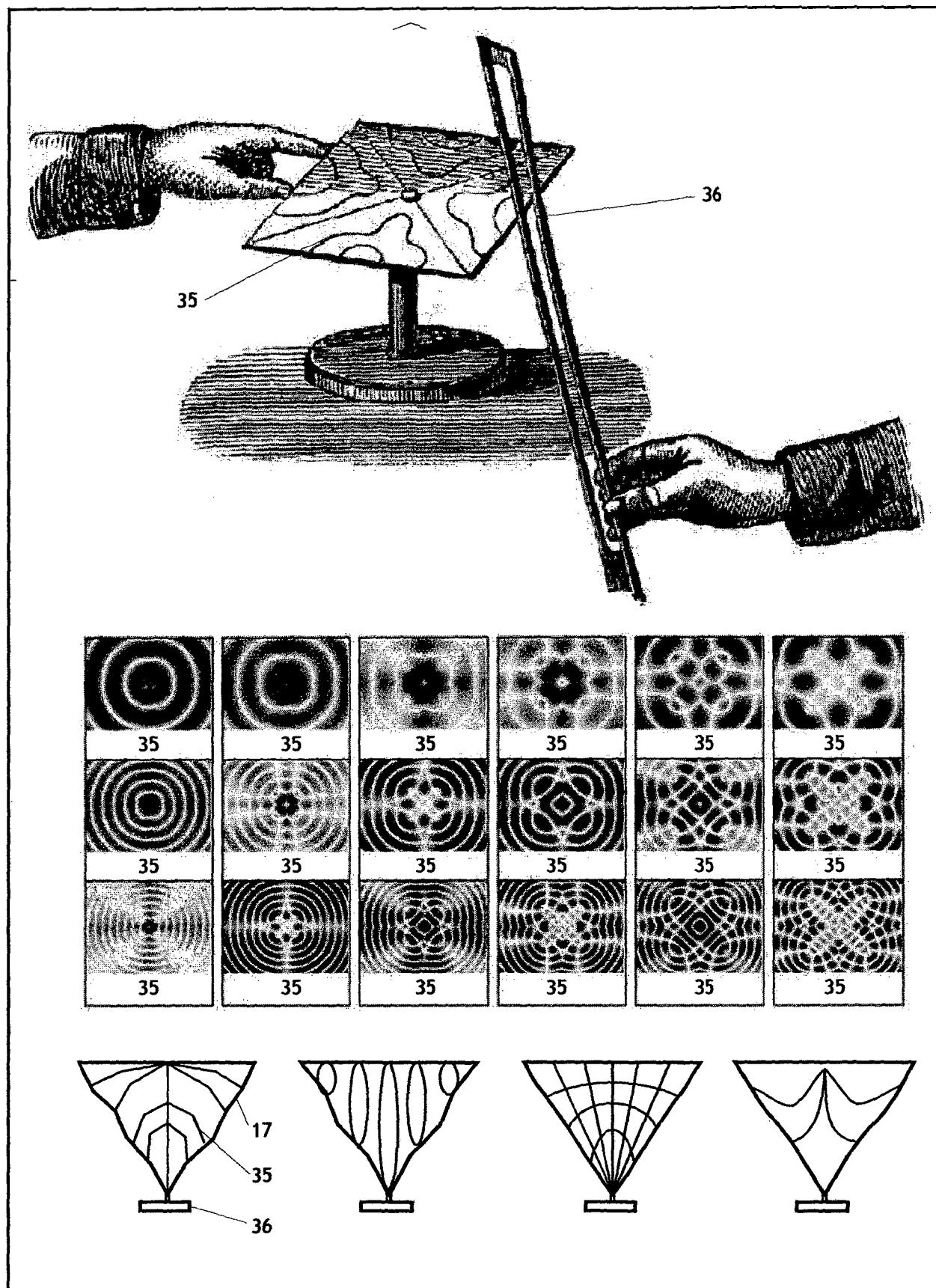


Fig. 8 Zeitliche Kohärenz

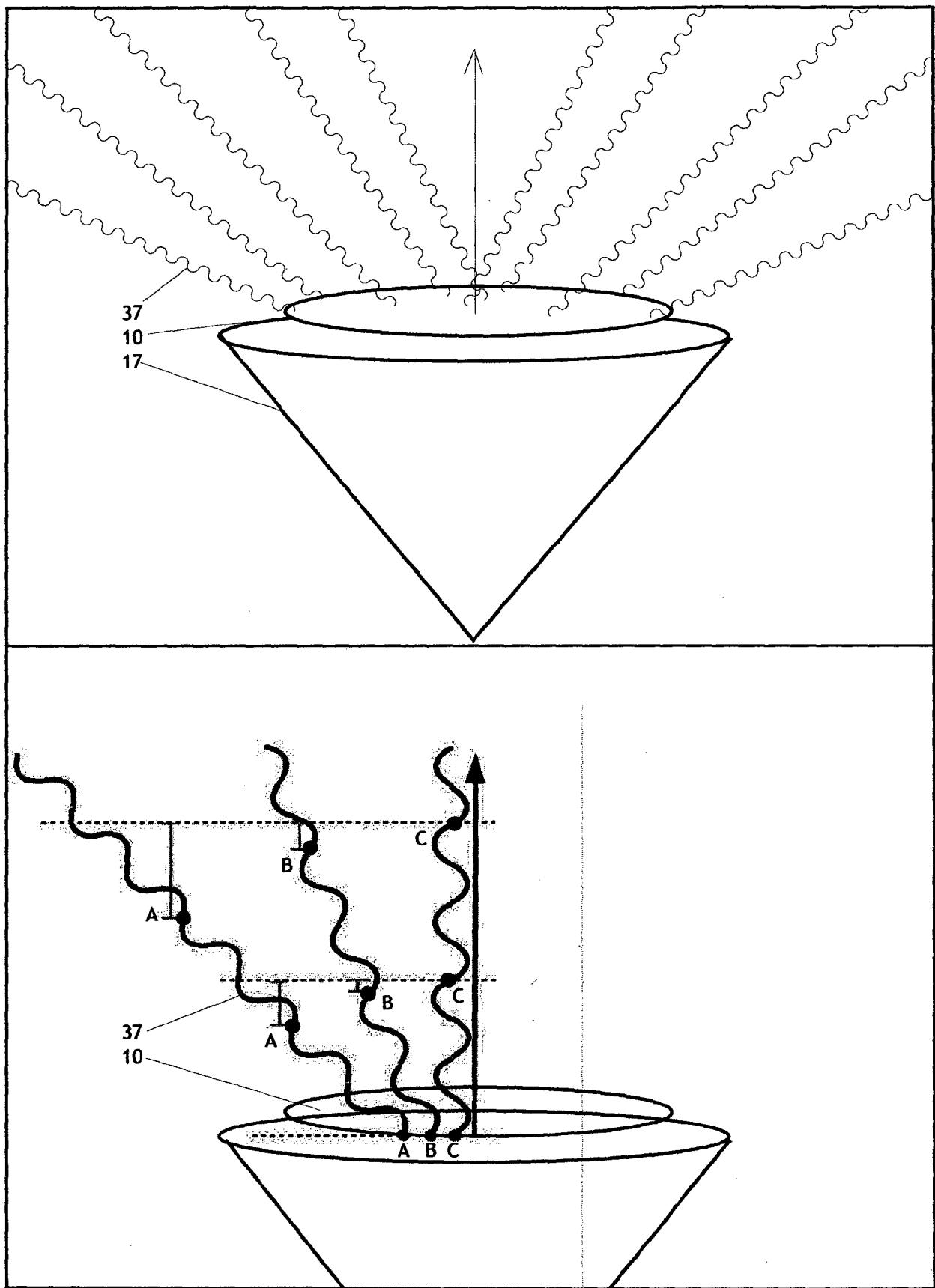


Fig. 9 Zeitliche Interferenz in Zusammenhang mit Musterbildung auf den Interferenzresonatoren

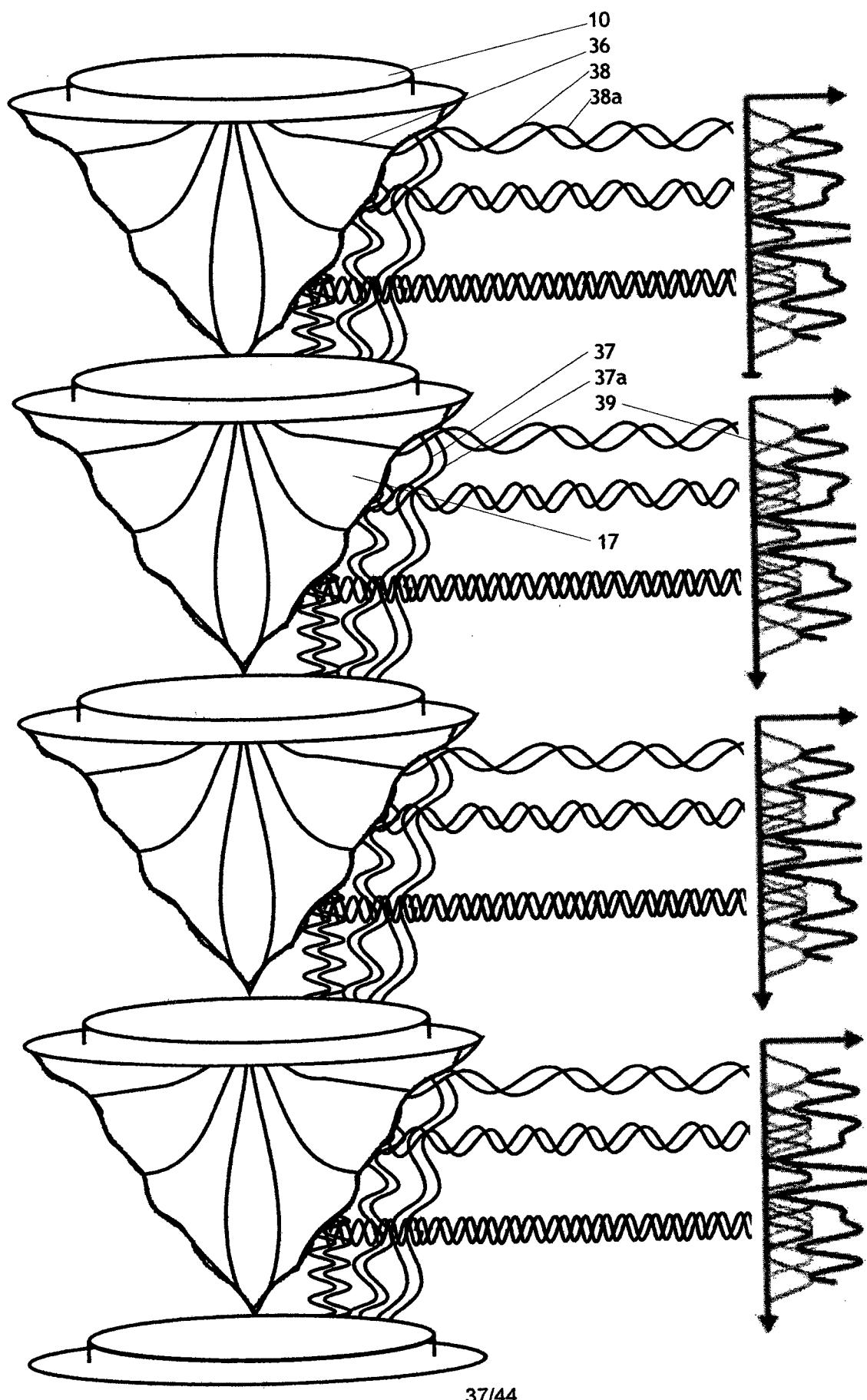
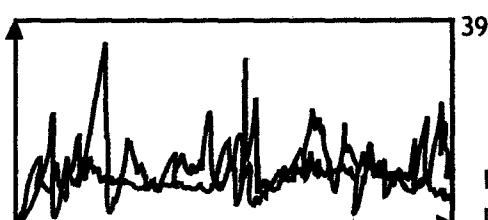
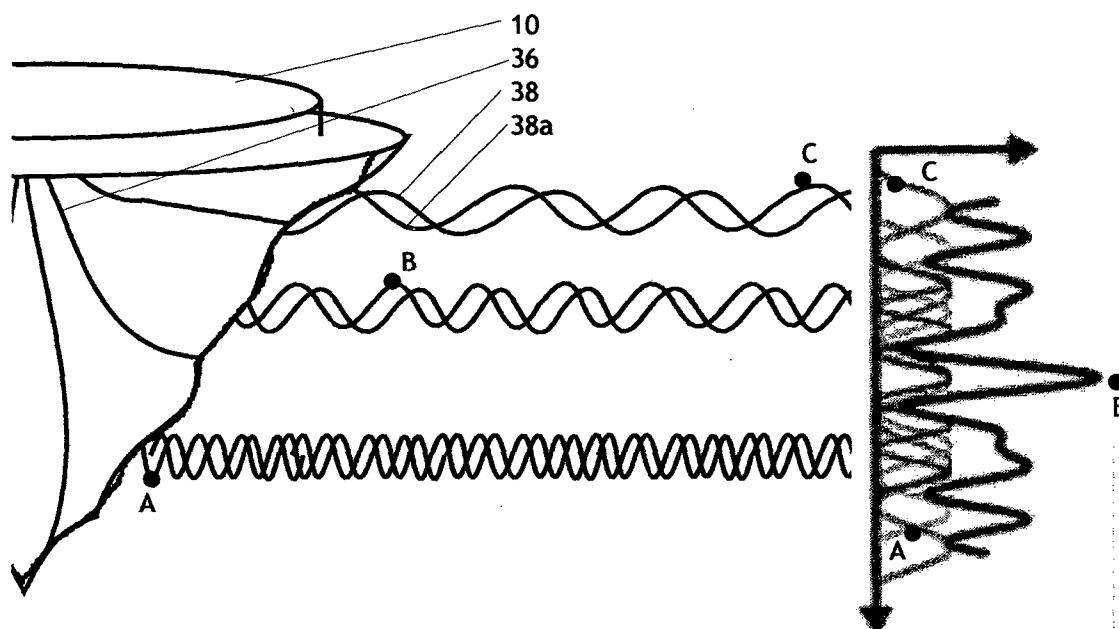
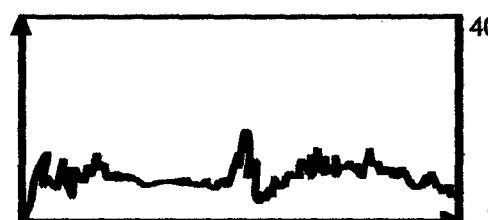


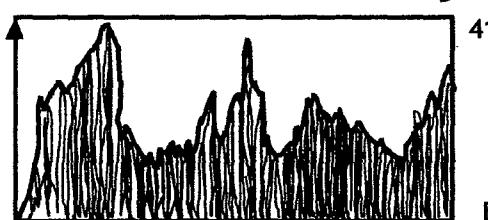
Fig. 10 Frequenzüberlagerung am Wellenfeldgenerator



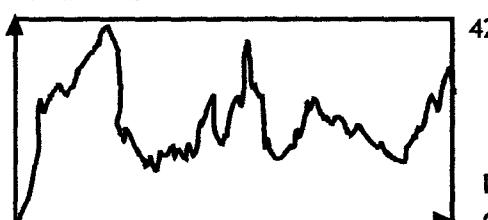
Frequenz eines Klanges so wie das Ohr ihn wahrnimmt, mit sich überlagernden Obertönen.



Frequenz desselben Klanges so wie ein Lautsprecher, Stand der Technik, ihn wiedergibt.



Frequenz eines Klanges und Bildung des Einhüllenden Musters.



Das Muster der Frequenzüberlagerung, welches nun das Gehirn auswertet.

Fig. 11 Zeitliche Interferenzbildung am Wellenfeldgenerator

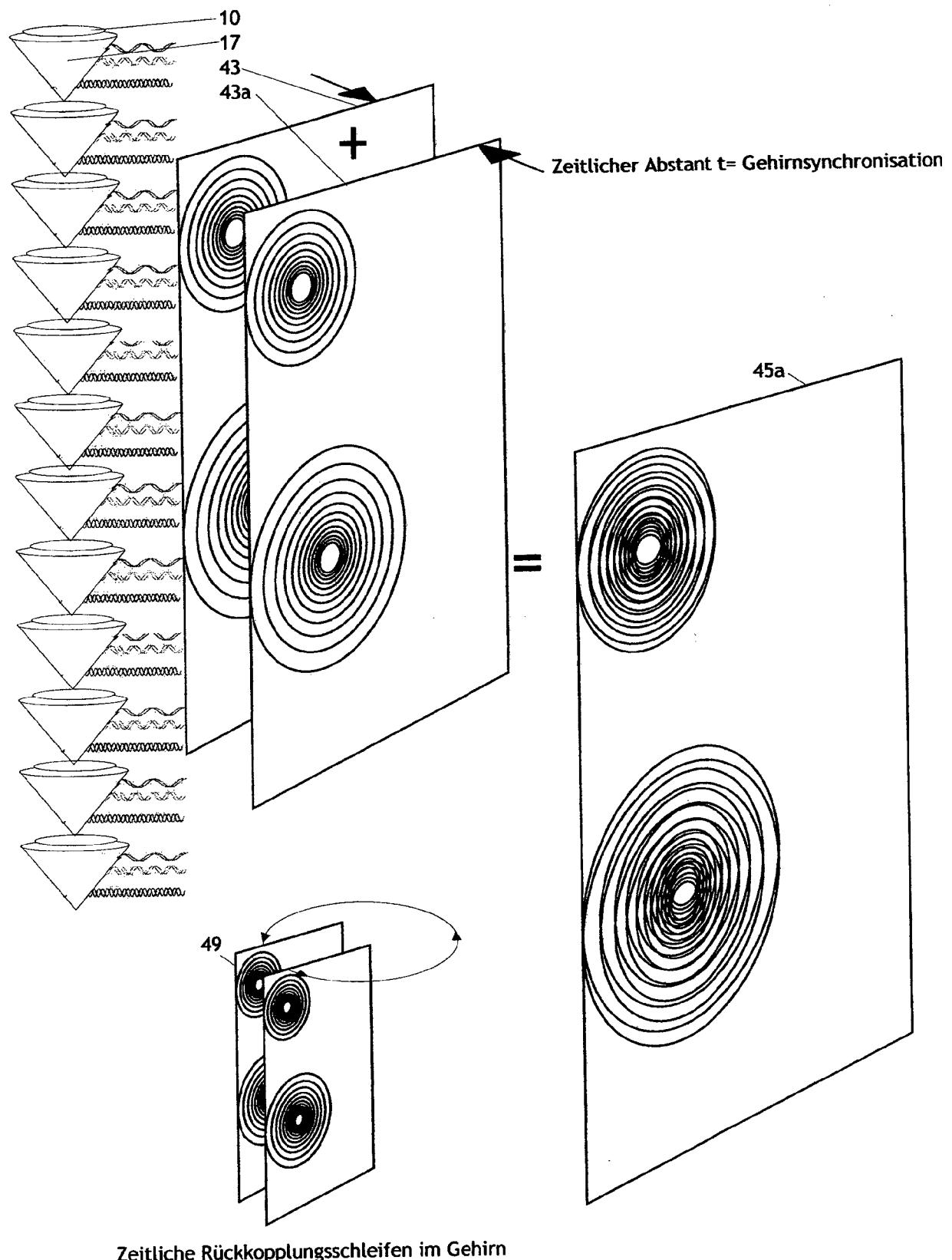


Fig. 12 Räumlich- zeitliche Interferenzbildung

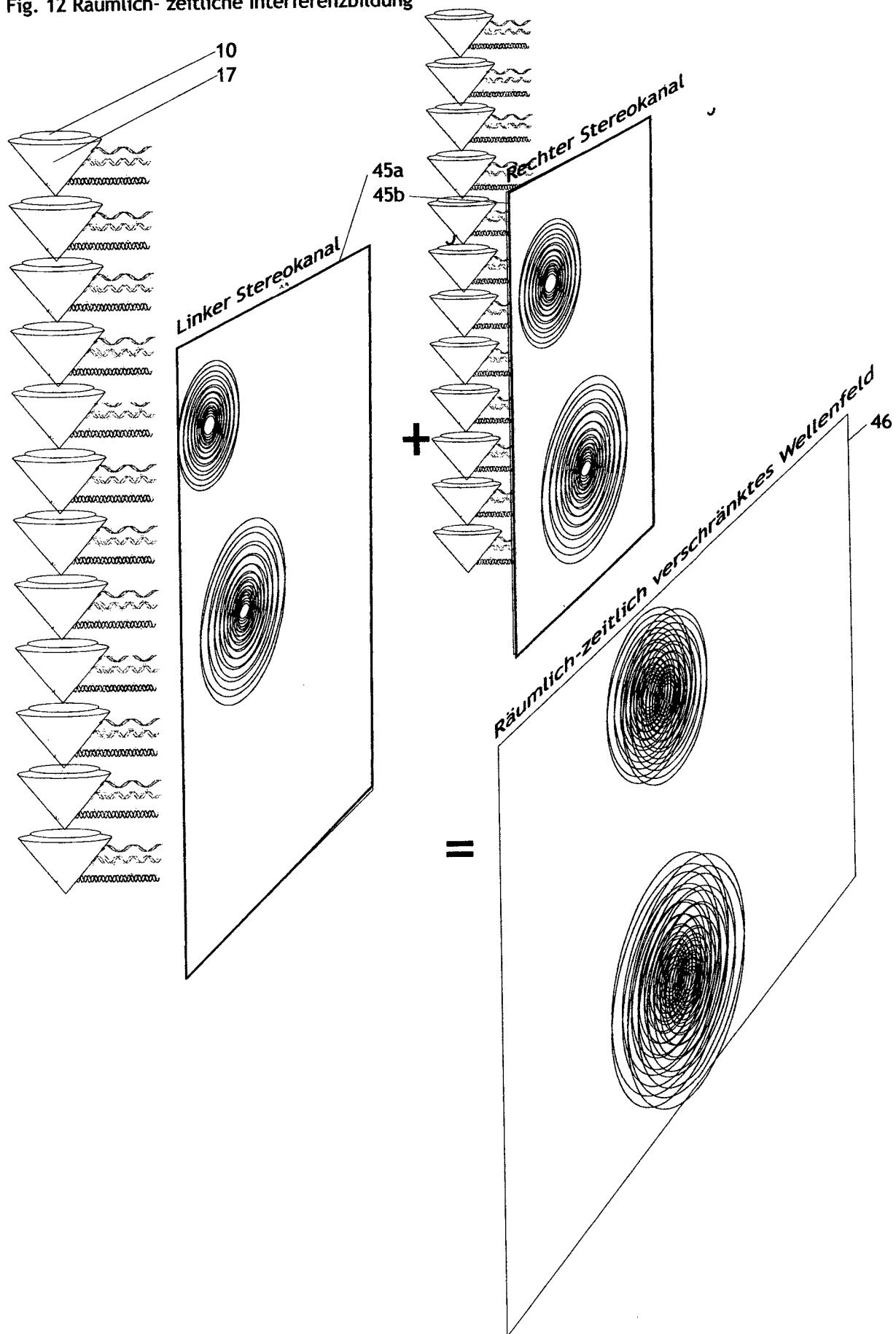


Fig. 13 Räumlich- zeitlich verschränktes Wellenfeld von oben

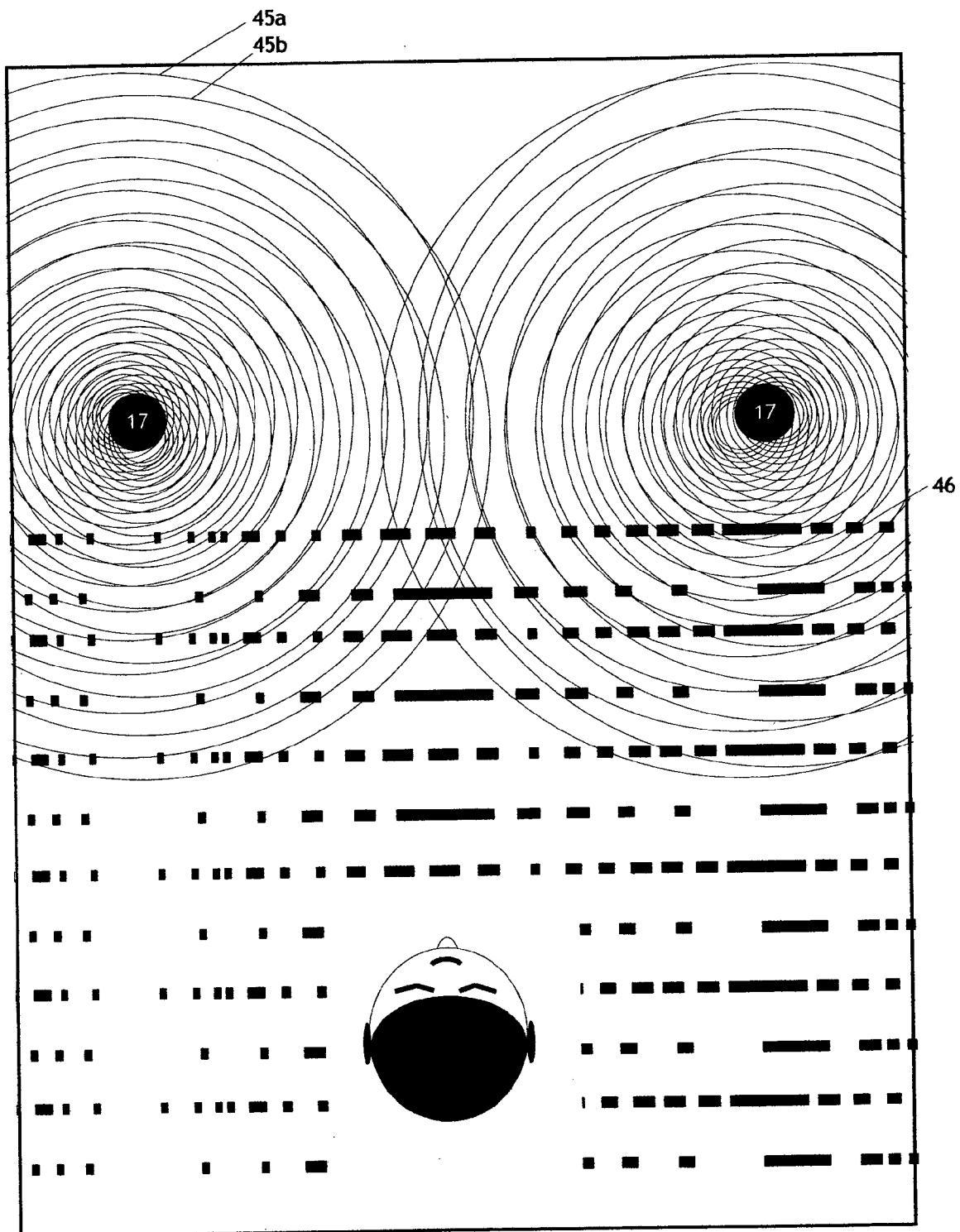


Fig. 14 Zwei Wellenfeldgeneratoren erzeugen EIN verschranktes Wellenfeld

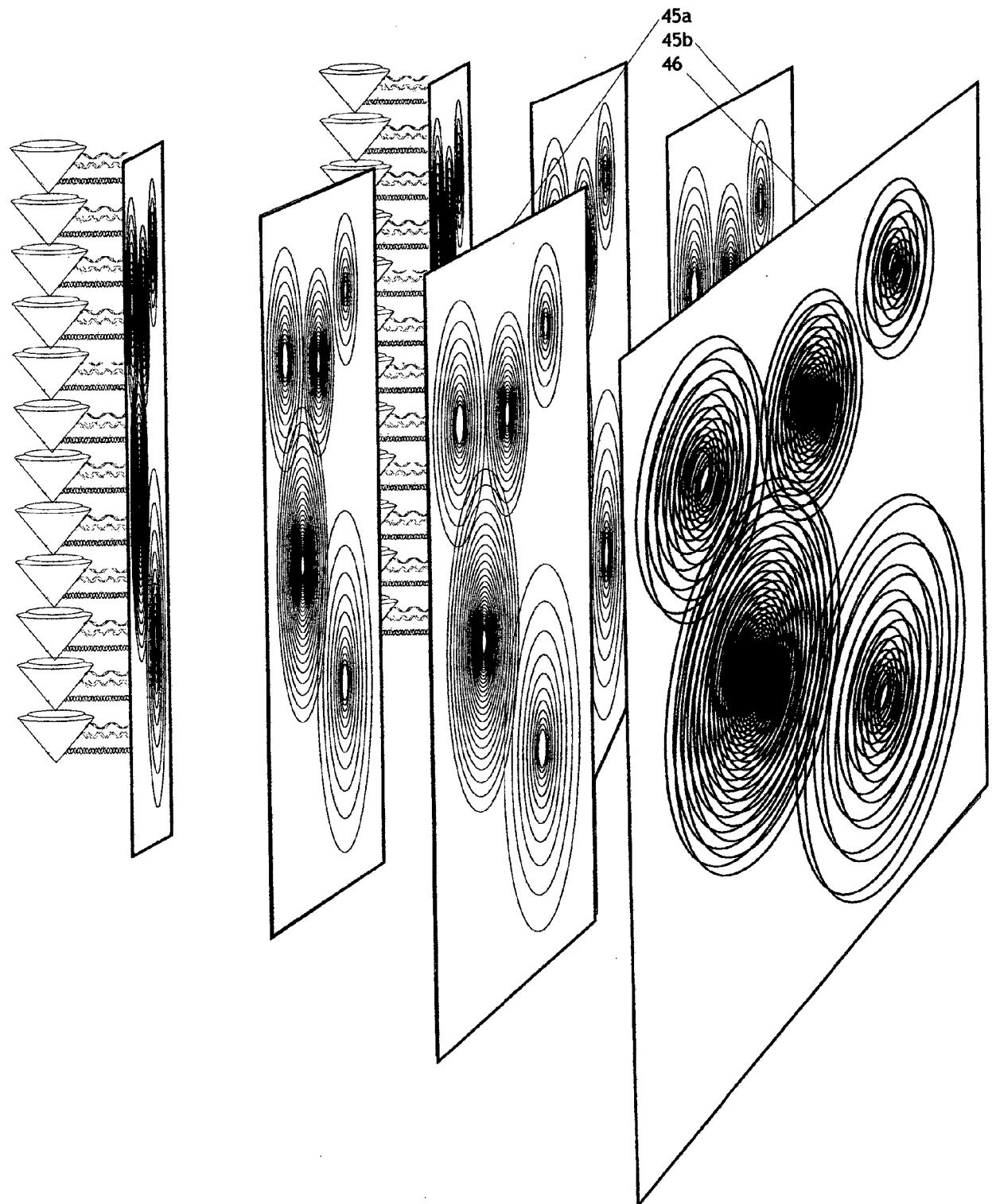


Fig. 15 Vier Wellenfeldgeneratoren erzeugen EIN verschranktes Wellenfeld

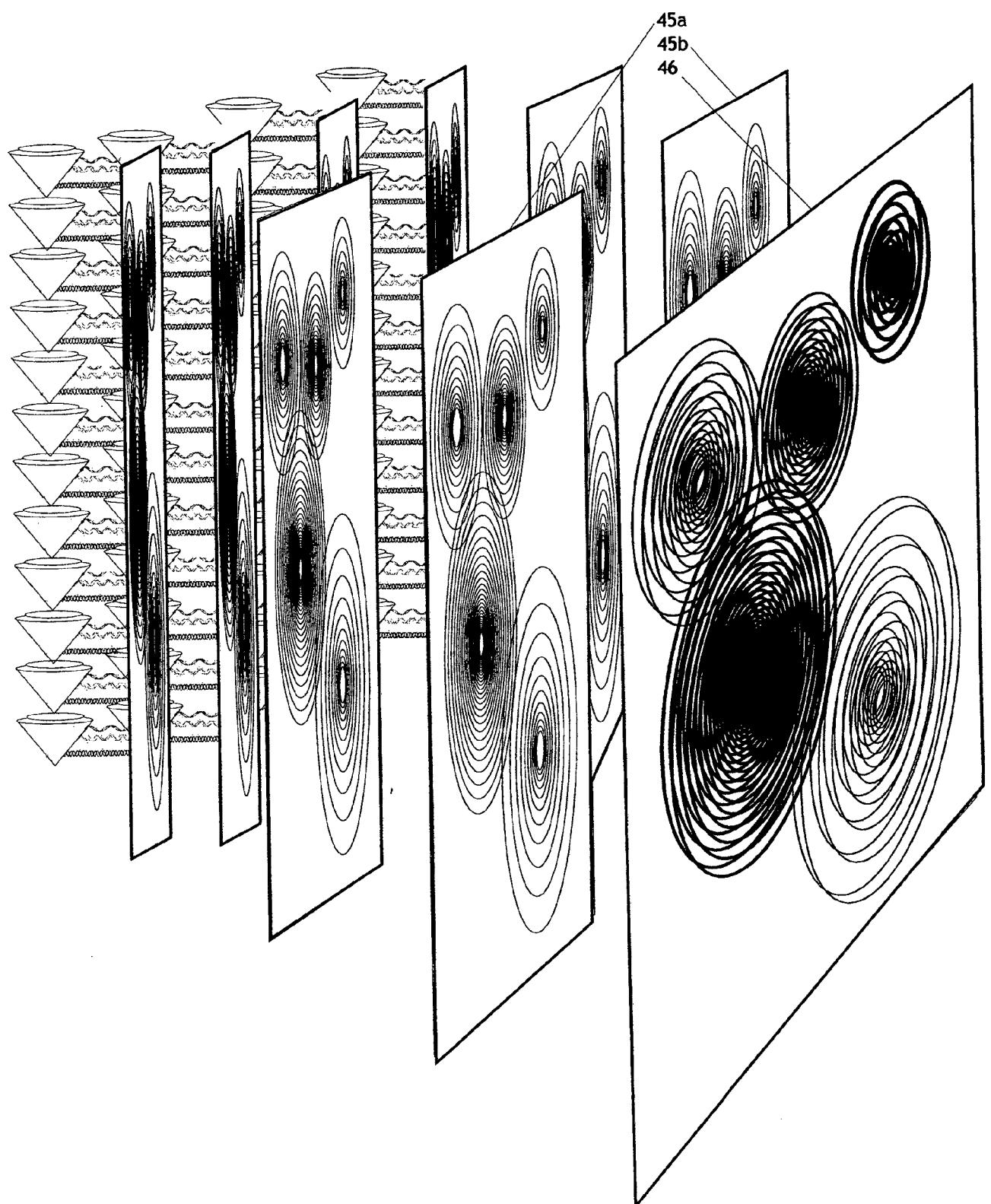


Fig. 17 Präzedenzeffekt - Stand der Technik

