

WO 2007/003519 A2



SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

Klangsignals mit jeweils einer Impulsantwortfunktion zum Erzeugen von unterschiedlichen optimierten Klangsignalen, wobei die jeweilige Impulsantwortfunktion aus einer Auswahl von vorgegebenen Impulsantwortfunktionen für den Raum ausgewählt werden; Wiedergeben der optimierten Klangsignale über in dem Raum angeordnete Klangwiedergabemittel, wobei jedem Klangwiedergabemittel ein unterschiedliches optimiertes Klangsignal zugeführt wird, und wobei jeweils nach einem Umschaltzeitintervall die optimierten Klangsignale den Wiedergabemitteln derart zugeführt werden, dass keinem der Wiedergabemittel in direkt aufeinander folgenden Umschaltzeitintervallen dasselbe optimierte Klangsignal zugeführt wird.

Elektroakustisches Verfahren

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verbessern der wahrgenommenen Akustik eines Raumes, insbesondere zum Verbessern der Raumakustik eines Veranstaltungssaales, einer offenen Veranstaltungsstätte oder dergleichen mittels elektroakustischer Maßnahmen.
- 10 In Veranstaltungsräumen entsprechen die raumakustischen Bedingungen meist nur sehr begrenzt unterschiedlichen Anforderungen verschiedener Veranstaltungsarten. Beispielsweise unterscheiden sich die raumakustischen Anforderungen für Sprachveranstaltungen, Musiktheater oder Musikveranstaltungen mit unterschiedlicher instrumentaler Besetzung erheblich. Bei Sprachveranstaltungen, wie Sprechtheater oder Vorlesungen sind starke frühe Reflexionen
- 15 und eine ausreichende Signallautstärke zur Sicherstellung einer guten Verständlichkeit erforderlich. Eine Nachhallzeit für derartige Räume für hauptsächlich Sprachveranstaltungen sollte zwischen 0,5 und 1,5 s liegen. Bei Musikveranstaltungen hingegen ist ein stärkeres Nachklingen des Raumes abhängig von Raumvolumen, Stilrichtung der Musik und Besetzung des Orchesters zwischen 1,0 und 2,5 s bei klassischer Musik und sogar 2 bis 10 s bei geistlicher Musik erwünscht. Ferner sind gegebenenfalls seitliche Reflexionen zur Erhöhung der Räumlichkeit und der empfundenen Schallquellengröße anzustreben.
- 20

In der Regel sind die natürlichen raumakustischen Verhältnisse in Veranstaltungsräumen auf einen speziellen Veranstaltungstyp zugeschnitten wie beispielsweise bei einer Philharmonie, Opernsälen oder Hörsälen, sodass die akustischen Ergebnisse für abweichende Veranstaltungstypen oftmals unbefriedigend sind. In gewissen Grenzen kann eine Anpassung der raumakustischen Verhältnisse durch variable Absorberflächen, verstellbare Reflektoren oder zusätzliche Hallkammern erfolgen, was jedoch einen hohen technischen und finanziellen Aufwand erfordert.

25

30

Es sind daher elektroakustische Systeme entwickelt worden, mit denen zusätzliche Reflexionen und Hall in verschiedene Raumbereiche eingespielt werden können. Eine besondere Schwierigkeit besteht dann darin, eine Klang verfärbende Rückkopplung der eingespielten

Signale in Aufnahmемикроне zu verhindern. Häufig geschieht dies durch die Verwendung von Mikrofonen und Lautsprechern mit einer ausgeprägten Richtwirkung und durch den Einsatz dynamischer Filter zur Unterdrückung von etwaigen Rückkopplungsfrequenzen. Gleichzeitig ist aber für Systeme zur elektronischen Raumakustikbeeinflussung eine homogene Aufnahme der Schallquellen im gesamten Bühnenbereich und von hoher Qualität erforderlich. Dabei soll die Mikrofonanordnung bei unterschiedlichen Veranstaltungstypen möglichst nicht verändert werden. Stark richtende Mikrofone zur Unterdrückung von Rückkopplungen sind daher eher ungeeignet.

Zudem ist bei Opernaufführungen oder in Mehrzwecksälen die Bühnensituation sehr variabel, wodurch sich die natürlichen raumakustischen Bedingungen auch im Verlaufe der Vorstellung ändern können. Eine Umpositionierung von Aufnahmемикрonen ist dann kaum möglich.

In jüngerer Zeit sind daher elektroakustische Systeme zur Verbesserung der Raumakustik vorgeschlagen worden, die das Rückkopplungsproblem auf verschiedene Weise behandeln. Aus der US 5,199,419 ist beispielsweise ein elektroakustisches System bekannt, bei dem über Mikrofon aufgezeichnete Klangsignale an eine Vielzahl von Hallgeneratoren geführt werden, die jeweils den entsprechenden Signalen einen synthetischen Hall aufprägen. Diese Signale werden über eine Vielzahl von Lautsprechern, welche in einem entsprechend ausgestatteten Saal angeordnet sind, wiedergegeben. Die verschiedenen Hallgeneratoren erzeugen dabei eine zufällige Verzögerungszeit und weisen jeweils nicht korrelierte Übertragungsfunktionen auf. Die Lautsprecher werden derart angesteuert, dass benachbarte Lautsprecher nicht von demselben Signal angesprochen werden. Dadurch, dass gemäß der US 5,199,419 die Amplituden- und Zeitverzögerungen der einzelnen Signale sowie die verwendeten Übertragungsfunktionen für die Hallgeneratoren zeitlich kontinuierlich und zufällig verändert werden, kann so eine Rückkopplung vermindert werden. Derartig synthetisch erzeugte zusätzliche Reflexionen bzw. Nachhall kann jedoch für einen Zuhörer unnatürlich wirken. Die zufällig synthetisierte Nachhallerzeugung hat auch den Nachteil, dass die speziellen Charakteristika des Raumes, in dem ein derartiges elektroakustisches System eingesetzt wird, durch die Randomisierung und künstliche Erzeugung des Halls nur unzureichend berücksichtigt werden.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und System zum Verbessern einer wahrgenommenen Akustik eines Raumes zu schaffen, bei dem an möglichst jedem Zuhörerplatz natürliche akustische Signale des Raumes mit elektroakustisch erzeugten Signalen zeitsynchron ergänzt sind, ohne dass eine Klang verfärbend wahrnehmbare Rückkopplung entsteht oder die zusätzlich erzeugten elektroakustischen Signale von einem Zuhörer lokalisiert werden können.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Verbessern einer wahrgenommenen Akustik eines Raumes mit den Verfahrensschritten des Patentanspruchs 1 gelöst. Ferner löst ein erfindungsgemäßes Klangsystem mit den Merkmalen des Patentanspruchs 17 diese Aufgabe.

Demgemäß ist ein Verfahren mit den folgenden Verfahrensschritten vorgesehen:

- a) Aufnehmen mindestens eines Klangsignals über ein Aufnahmemittel in der Nähe mindestens einer Klangquelle in dem Raum;
- b) Durchführen von jeweils einer Faltung des aufgenommenen Klangsignals mit jeweils einer Impulsantwortfunktion zum Erzeugen von unterschiedlichen optimierten Klangsignalen, wobei die jeweilige Impulsantwortfunktion aus einer Auswahl von vorgegebenen Impulsantwortfunktionen für den Raum ausgewählt werden;
- c) Wiedergeben der optimierten Klangsигnale über in dem Raum angeordnete Klangwiedergabemittel, wobei jedem Klangwiedergabemittel ein unterschiedliches optimiertes Klangsигнал zugeführt wird, und wobei jeweils nach einem Umschaltzeitintervall die optimierten Klangsигnale den Wiedergabemitteln derart zugeführt werden, dass keinem der Wiedergabemittel in direkt aufeinander folgenden Umschaltzeitintervallen dasselbe optimierte Klangsигнал zugeführt wird.

Entsprechend sieht das erfindungsgemäße Klangsystem für einen Raum, insbesondere zur Durchführung dieses erfindungsgemäßen Verfahrens vor:

a) mindestens ein Mikrofon zum Aufnehmen mindestens eines Klangssignals in der Nähe einer Klangquelle;

b) eine Faltungseinrichtung zum Falten des aufgenommenen Klangssignals mit vorgegebenen Impulsantwortfunktionen zum Erzeugen von optimierten Klangsignalen;

c) eine an die Faltungseinrichtung gekoppelte Umschalteneinrichtung; und

d) an die Umschalteneinrichtung gekoppelte Lautsprecher zum Wiedergeben der optimierten Klangsinnale;

e) wobei die Umschalteneinrichtung jeweils nach einem Umschaltzeitintervall die optimierten Klangsinnale den Lautsprechern derart zuführt, dass keinem der Lautsprecher in direkt aufeinander folgenden Umschaltzeitintervallen dasselbe optimierte Klangsinnal zugeführt wird.

Gemäß der Erfindung werden aus einem Klangsinnal der entsprechenden Klangquelle in dem Raum, wie beispielsweise Musik oder Sprache, mehrere optimierte Klangsinnale durch Faltung mit vorgegebenen Impulsantwortfunktionen erzeugt und diese über mehrere im Raum verteilte Lautsprecher wiedergegeben. Erfindungsgemäß wird die Rückkopplungssicherheit dadurch erzielt, dass die entsprechenden Abstrahlorte einem periodischen Wechsel in Umschaltzeitintervallen unterliegen. Durch die Umschaltung der wiedergegebenen optimierten Klangsinnale ist es einem Zuhörer dann auch nicht möglich, den eingespielten Klang zu lokalisieren. Vielmehr führt das erfindungsgemäße Verfahren zu einem besonders angenehmen räumlichen Klangbild. Ferner müssen auch häufig gerade in der Nähe der Bühne oder der Klangquelle zusätzliche Reflexionen oder Nachhall eingespielt werden, um eine möglichst angenehme Raumakustik zu erzielen. Bei Systemen nach dem Stand der Technik war dies meist problematisch, da dann leicht Rückkopplungen auftreten können. Durch die Erfindung wird allerdings gerade auch die Einspielung von zusätzlichem Hall in der Bühnennähe ermöglicht.

Bevorzugt werden mindestens drei unterschiedliche optimierte Klangsinnale erzeugt, und es sind mindestens drei Wiedergabemittel vorgesehen.

Vorzugsweise ist das Umschaltzeitintervall so kurz gewählt, dass zwischen einem jeweiligen Wiedergabemittel und dem Aufnahmemittel keine Klang verfärbende Rückkopplung entsteht. Als Klang verfärbend werden üblicherweise ungewünschte Pegelanhebungen begrenzter Frequenzbereiche empfunden. Bereits in einem Vorstadium der eigentlichen Rückkopplung, die
5 beispielsweise zu einem deutlich wahrnehmbaren Pfeifen führen kann, sind derartige Erhöhungen des Signalpegels selbst von lokalen Frequenzen störend. Erfindungsgemäß wird solchen möglichen Klangverfärbungen durch das Umschalten begegnet.

10 Das Umschaltzeitintervall hängt vom Abstand zwischen dem entsprechenden Aufnahmemittel oder Aufnahmемикروفон und den im Saal angeordneten Lautsprechern zur Wiedergabe der optimierten Klangsignale ab. Ein bevorzugtes Umschaltzeitintervall liegt etwa in einem Bereich zwischen 100ms und 500ms.

15 In einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Umschaltzeitintervall zeitlich verändert. Dabei sind verschiedene Intervallauern beispielsweise abhängig von Art der Klangquelle und Veranstaltung einstellbar. Die Intervalldauer kann auch zufällig gewählt werde, sodass die optimierten Klangsignale vollständig stochastisch den Lautsprechern zugeführt werden.

20 In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird bei einem Wechsel von einem ersten zu einem zweiten einem Wiedergabemittel zugeführten optimierten Klangsignal das jeweilige erste in das jeweilige zweite optimierte Klangsignal weich übergeblendet. Durch einen derartigen weichen Übergang entsteht ein besonders homogener Klangteppich, der bei bestimmten Typen von Klangquellen als angenehm empfunden wird.
25

Die optimierten Klangsignale werden vorzugsweise in einer periodischen Reihenfolge oder zufällig stochastisch verteilt an die Wiedergabemittel geführt.

30 In einer Weiterbildung des Verfahrens wird im Schritt b) eine Anzahl optimierter Klangsignale erzeugt, welche größer ist als die Anzahl der Wiedergabemittel. Dann wird mindestens eines der erzeugten optimierten Klangsignale während eines jeweiligen Umschaltintervalls

nicht an ein Wiedergabemittel geführt. Bei dieser Alternative des Verfahrens wird somit eines der optimierten Klangsignale nicht wiedergegeben, wodurch eine gewisse Randomisierung der Wiedergabe aller optimierten Klangsignale erreicht wird. Bevorzugterweise sind die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen untereinander unkorreliert.

5

In einer Weiterbildung des Verfahrens können zur Bestimmung mindestens einer der vorgegebenen Impulsantwortfunktionen die Schritte vorgesehen sein:

i) Messen einer Impulsantwortfunktion an einem Ort in dem Raum; und

10

ii) Entfernen oder Zufügen von Hallanteilen zu den gemessenen Impulsantwortfunktionen zum Erzeugen einer entsprechenden vorgegebenen Impulsantwortfunktion.

iii) Abspeichern der gemessenen Impulsantwortfunktion und/oder erzeugten vorgegebenen Impulsantwortfunktion.

15

Besonders bevorzugter Weise werden die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen für mehrere Orte in dem Raum erzeugt. Dadurch, dass zur Justierung oder Installation des erfindungsgemäßen Verfahrens in dem entsprechenden Raum zunächst die natürlichen Impulsantwortfunktionen gemessen werden, können zum Bestimmen der vorgegeben Impulsantwortfunktionen gewisse Anteile zugefügt werden, um eine möglichst ideale Impulsantwortfunktion zu erreichen. Durch die Verwendung von in dem Raum gemessenen Impulsantwortfunktionen und durch die Faltung der von der Klangquelle aufgenommenen Klangsignale mit diesen modifizierten originalen Impulsantwortfunktionen wird erfindungsgemäß ein besonders natürlicher Klangeindruck erreicht.

20

25

Ferner können die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen derart erzeugt werden, dass frühe Reflexionsanteile in einer jeweiligen Impulsantwortfunktion im Wesentlichen einer durch eine Mikrofonaufzeichnung gewonnenen Impulsantwort mit einem hohen Direktschallanteil und starken frühen Reflexionen entsprechen. Somit werden natürliche Mikrofonaufzeichnungen verwendet, um die in dem Raum gemessene originale Impulsantwortfunktion derart zu verändern, dass zusätzliche den Direktschallanteil verstärkende frühe Reflexionen wahrge-

30

nommen werden. Genauso werden die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen bevorzugt derart erzeugt, dass Nachhallanteile im Wesentlichen Mikrofonaufzeichnungen mit einem hohen Diffusschall entsprechen. Es werden also bevorzugt möglichst natürlich erscheinende Impulsantwortfunktionen zur Faltung verwendet, die aus Impulsantwortfunktionen des Raumes bestehen und zusätzliche Anteile für Direktschall und Diffusschall aufweisen. Genauso ist es möglich störende Anteile in einer gemessenen Impulsantwortfunktion zu entfernen. Erfindungsgemäß werden daher zunächst die dem Raum entsprechenden realistischen akustischen Eigenschaften ermittelt und nachbearbeitet bzw. "verbessert". In diesem Fall werden also vorzugsweise nicht vollständig synthetisch erzeugte Hallsignale verwendet sondern "natürlicher" Hall des Raumes aufbereitet.

In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die optimierten Klangsignale beim Wiedergeben mit einer periodischen Pegeländerung beaufschlagt. Diese periodische Pegeländerung mindert weiter die Gefahr von Rückkopplungen und erzeugt bei einem Zuhörer ein verbessertes Raumempfinden. Bevorzugt ist dann die Zeitkonstante der periodischen Pegeländerung in Abhängigkeit von einer Zeitkonstante für einen Rückkopplungsaufbau in dem Raum gewählt.

In noch einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die optimierten Klangsignale derart verzögert, dass die wiedergegebenen optimierten Klangsignale und die Klangsignale der Klangquelle an mindestens einem Ort des Raumes im Wesentlichen gleichzeitig eintreffen und vorzugsweise die Klangsignale der Klangquelle früher eintreffen.

Außerdem werden, falls mehrere Klangquellen vorliegen, die optimierten Klangsignale derart verzögert, dass ein Direktschall der Klangquellen an jedem Ort des Raumes immer zeitlich vor einem Reflexionsanteil eines wiedergegebenen optimierten Klangsignals eintrifft.

In einer anderen bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens werden mehrere Einzelklangsignale der Klangquelle über mehrere Aufnahmemittel aufgenommen und die entsprechenden Einzelklangsignale zu einem aufgenommenen Klangsignal zur Weiterverarbeitung miteinander gemischt. Dabei werden die Einzelklangsignale in Abhängigkeit von den Positionen der Aufnahmemittel verzögert. Durch Einsatz mehrerer Aufnahmemittel bzw. Mikrofone in Büh-

nennnähe lässt sich ein besonders homogener Klang erreichen, wobei ferner die Laufzeitunterschiede zwischen Mikrofon und der Klangquelle berücksichtigt werden.

Es ist ferner von Vorteil, wenn die Einzelklangsignale oder die aufgenommenen Klangsignale zum Reduzieren von höher frequenten Anteilen gefiltert werden. Durch die Filterung kann die Absorptionseigenschaft des Übertragungsmediums für den Schall in dem Raum simuliert und berücksichtigt werden.

Die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen, zum Beispiel auf einer realistischen Ermittlung Basierende, sind in dem erfindungsgemäßen Klangsystem vorzugsweise in einem an die Faltungseinrichtung gekoppelten Speicher gespeichert. Es ist ferner vorzugsweise der Umschalt-einrichtung eine Pegelanpasseinrichtung zum periodischen Ändern der Pegel der optimierten Klangsignale nachgeschaltet und/oder eine Verzögerungseinrichtung zum Verzögern der optimierten Klangsignale vorgesehen.

Die Lautsprecher in dem Raum sind vorteilhaft derart angeordnet, dass vorzugsweise mindestens drei Lautsprecher an einem jeweiligen Ort von einem Zuhörer in dem Raum wahrnehmbar sind. Mittels dreier Lautsprecher ist bereits durch die erfindungsgemäßen elektroakustischen Maßnahmen eine Verbesserung der Klangeigenschaften möglich. Wahrnehmbar bedeutet in diesem Fall nicht zwingend, dass eine Verstärkung des originären Klangsignals der Klangquelle vorgenommen wird und ein Zuhörer die entsprechend eingespielten Signale hört, sondern, dass die Klangverbesserung bzw. die Verbesserung der Akustik des Raumes wahrnehmbar ist.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Klangsystems sieht mehrere Signalzweige mit jeweils mindestens einem aufgenommenen Klangsignal, einer Faltungseinrichtung, einer Umschalt-einrichtung und einer Gruppe von Lautsprechern vor, wobei die entsprechenden vorgegebenen Impulsantwortfunktionen in Abhängigkeit von den Positionen der Lautsprecher gewählt sind.

Die Erfindung umfasst ferner einen Veranstaltungssaal, der mit einem erfindungsgemäßen Klangsystem ausgestattet ist.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele. Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert. Es zeigt dabei:

Fig. 1: eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Klangsystems in einem Konzertsaal;

Fig. 2: ein Beispiel einer vorgegebenen Impulsantwortfunktion;

Fig. 3: eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Klangsystems;

Fig. 4: eine Darstellung von Gewichtungsfunktionen zur Pegelabsenkung; und

Fig. 5: eine bevorzugte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Klangsystems.

In den Figuren sind, sofern nichts anderes angegeben ist, gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen worden.

Die Fig. 1 zeigt ein erfindungsgemäßes Klangsystem 1 für einen Raum 2, beispielsweise einen Konzert- oder Veranstaltungssaal. In dem Saal 2 ist ein Bühnenbereich 3 vorgesehen, der hier schematisch als Klangquelle dient. In der Nähe der Klangquelle 3 wird über ein Mikrofon 4 ein Klangsignal $E1(t)$ aufgenommen. Das aufgenommene Klangsignal $E1(t)$ wird einer Faltungseinrichtung 5 zugeführt, die beispielsweise als digitaler Signalprozessor oder PC ausgeführt sein kann. Die Faltungseinrichtung 5 ist an einen Speicher 6 gekoppelt, der vorgegebene Impulsantwortfunktionen abgespeichert vorhält. Die Faltungseinrichtung 5 führt in dem hier dargestellten Beispiel vorzugsweise drei Faltungen an dem aufgenommenen Klangsignal $E1(t)$ mit jeweils einer Impulsantwortfunktion $gi(t)$ durch und erzeugt so drei optimierte Klangsignale $L1(t)$, $L2(t)$, $L3(t)$:

$$(1) \quad Li(t) = \int d\tau \quad Ei(t)gi(t-\tau)$$

Die drei optimierten Klangsignale L1, L2, L3 werden einer Umschalteneinrichtung 7 zugeführt, welche an die Faltungseinrichtung 5 gekoppelt ist.

5

Die Umschalteneinrichtung weist einen ersten, zweiten und dritten Eingang 8, 9 und 10 auf und drei Ausgänge 11, 12 und 13. Die Umschalteneinrichtung 7 schaltet die optimierten Klangsignale L1, L2, L3 derart an ihre Ausgänge 11, 12 und 13 durch, dass beispielsweise während eines ersten Umschaltzeitintervalls der Länge Δt das Signal L1 als Lautsprecher-signal N1 an dem ersten Ausgang 11 abgreifbar ist, das zweite optimierte Klangsignal L2 an dem zweiten Ausgang 12 als zweites Lautsprecher-signal N2 abgreifbar ist und das dritte optimierte Klangsignal L3 an dem dritten Ausgang 13 als drittes Lautsprecher-signal N3 abgreifbar ist. In einem zweiten oder darauffolgenden Umschaltzeitintervall wird dann L1 an den Ausgang 12, L2 an den Ausgang 13 und L3 an den Ausgang 11 geführt. In einem dritten Umschaltintervall könnte dann eine Zuordnung L1 auf Ausgang 13, L2 auf Ausgang 11 und L3 auf Ausgang 12 folgen. Die entsprechenden Lautsprecher-signale N1, N2, N3 werden Lautsprechern 14, 15 und 16 zugeführt, welche in dem Konzertsaal 2 angeordnet sind und die entsprechenden Signale wiedergeben.

Ein Zuhörer in dem Raum 2, beispielsweise am Ort 17, nimmt einerseits den direkten Schall von der Bühne 3 wahr und andererseits Hallanteile, welche durch das erfindungsgemäße System 1 durch die Lautsprecher 14, 15, 16 abgegeben werden. Der subjektive Klangeindruck für einen Zuhörer ergibt sich dabei im Wesentlichen aus den originalen akustischen Eigenschaften des Raumes 2 und den vorgegebenen Impulsantworten, mit denen das aufgezeichnete Signal $Ei(t)$ gefaltet wird.

25

Allgemein lässt sich die Akustik eines Raumes mittels seiner Impulsantwort- oder seiner entsprechenden Übertragungsfunktionen charakterisieren. Die entsprechende Impulsantwortfunktion bezeichnet den Schalldruckverlauf an einem bestimmten Ort des Raumes als Funktion der Zeit, wenn an einem anderen Ort im Raum eine deltaförmige akustische Welle ausgesandt wird.

30

Eine beispielhafte Impulsantwort $g_i(t)$ ist in der Fig. 2 dargestellt. Zum Zeitpunkt 0 wird ein kurzer Impuls, beispielsweise ein Schuss oder Händeklatschen, verursacht und der entsprechende Schalldruck oder die Energiedichte des Schallsignals an anderer Stelle aufgezeichnet.

- 5 Die durchgezogene Kurve A1 kann beispielsweise der Impulsantwortfunktion des in Fig. 1 dargestellten Raumes 2 für einen ausgesendeten Impuls auf der Bühne 3 und dem empfangenen Schalldruck an der Position 20 entsprechen.

- 10 Die ersten frühen Anteile entsprechen dabei einem Direktschall DS, der sich ohne Umwege über Reflexionen an etwaigen Oberflächen zu dem Empfänger bzw. Zuhörer ausbreitet. Als frühe Reflexionen, die maßgeblich die wahrgenommene Klarheit und Deutlichkeit der Klangsignale beeinflussen, werden üblicherweise die in einem Bereich bis zu etwa 80ms nach dem Direktschall DS vorliegenden Anteile der Impulsantwortfunktion $g_i(t)$ bezeichnet. Hallanteile bei größeren Zeiten werden als Diffusschall DF wahrgenommen. Als besonders angenehm
15 werden in der Regel Räume empfunden, die eine Impulsantwortfunktion aufweisen, die in etwa einem "Tannenbaum" entspricht, und eine Einhüllende, wie beispielsweise die Kurve A2 aufweisen. Die vorgegebenen und abgespeicherten Impulsantwortfunktionen, welche in der Faltungseinrichtung 5 verwendet werden, können nun so erzeugt werden, dass für einen harmonischen Klangeindruck fehlende Hallanteile, beispielsweise die gestrichelte Linie A3 in
20 der Fig. 2, der gemessenen Impulsantwortfunktion zugefügt werden. Dies kann zum Beispiel durch Aufzeichnen von Impulsantwortfunktionen in Räumen mit besonders guter Akustik erfolgen und anschließendem Einfügen derartiger Hallanteile in eine gemessene Impulsantwort des zu verbessernden Raumes. Ebenso können störende Anteile in einer gemessenen Impulsantwortfunktion entfernt werden und die derart erzeugte vorgegebenen Impulsantwort-
25 funktionen als Grundlage für die Faltung in der Faltungseinrichtung 5 verwendet werden.

- Allgemein kann durch Falten eines Klangsignals eines ersten Raumes mit der Impulsantwort eines zweiten Raumes den Klangsignalen die Klangcharakteristik des zweiten Raumes aufgeprägt werden. Die Faltung erfolgt dabei wie in der Gleichung (1) beschrieben ist. Wird ein
30 derartig gefaltetes Signal jedoch ohne weitere Bearbeitung in dem zweiten Raum, hier beispielsweise in dem Saal 2, wiedergegeben, können Rückkopplungen entstehen, und ein Zuhö-

rer würde außerdem den zusätzlich eingespielten Hall über die Lautsprecher lokalisieren können, was in der Regel als störend empfunden würde.

Erfindungsgemäß werden daher durch die Umschalteinrichtung 7 die gefalteten bzw. optimierten Signale L1, L2, L3 durchgetauscht. Als vorgegebene Impulsantwortfunktionen zur Faltung, kommen beispielsweise in dem Saal aufgezeichnete Impulsantwortfunktionen an besonders günstigen Hörerpositionen in Frage, wie beispielsweise in dem ersten Drittel eines bestuhlten Konzertsaals. Dann können an benachbarten Positionen 17, 18, 19, 20 in dem Saal 2 die Impulsantworten aufgezeichnet werden und in modifizierter bzw. um Hallanteile ergänzter Form als vorgegebene Impulsantwortfunktion für die Faltung verwendet werden. Es sind auch weitere Verbesserungen durch Hinzufügen oder Entfernen bestimmter Hallanteile dieser Impulsantwortfunktionen möglich.

Insgesamt wird erfindungsgemäß eine besonders angenehm empfundene Impulsantwortfunktion verwendet. Durch das Abspeichern derartiger vorgegebener Impulsantwortfunktionen kann das erfindungsgemäße Klangsystem auch einfach an räumliche Veränderungen in dem Konzertsaal 2 angepasst werden. Entsprechende vorgegebene Impulsantwortfunktionen zur Verwendung bei Sprachveranstaltungen, Kammermusik, Orchestermusik oder Vortragsveranstaltungen können so flexibel vorgehalten werden. Auch auf räumliche Änderungen durch Einziehen von Trennwänden kann das erfindungsgemäße Klangsystem reagieren.

Die Fig. 3 zeigt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Klangsystems 100. Es ist ein Mikrofon 4 zur Aufnahme eines Klangs Signals E1 vorgesehen, welches einer Faltungseinrichtung 5 zugeführt ist. Die Faltungseinrichtung 5 führt Faltungen von in dem angekoppelten Speicher abgelegten Impulsantwortfunktionen mit dem aufgenommenen Aufnahmesignal E1 durch. Die sechs entsprechenden Faltungssignale L1, L2, L3, L4, L5, L6 werden den sechs Eingängen 21-26 einer Umschalteinrichtung 7 zugeführt.

Die Umschalteinrichtung 7 weist vier Ausgänge 27, 28, 29, 30 auf, an denen vier Faltungssignale M1, M2, M3, M4 abgreifbar sind. Die Umschalteinrichtung 7 schaltet beispielsweise in stochastischem Wechsel die Faltungssignale L1-L6 an die Ausgänge 27-30 durch. Dabei werden jeweils über ein jeweiliges Umschaltzeitintervall Δt zwei der optimierten Klangs signale

N1-N6 nicht durchgeschaltet. Dabei wird vorzugsweise periodisch mit einer Periodendauer von etwa 200ms bis 500ms die Zuordnung der an den Eingängen der Umschalteneinrichtung anliegenden Signale L1-L6 auf die an den Ausgängen 27, 28, 29, 30 der Umschalteneinrichtung 7 abgreifbaren Signale M1, M2, M3, M4 nach einem vorgegebenen Algorithmus geändert. In dem hier betrachteten Ausführungsbeispiel werden beispielsweise jeweils zwei (bei aufeinander folgenden Umschaltzeitintervallen unterschiedliche Signale L1-L6) ausgeblendet. An benachbarten Ausgängen 27, 28, 29, 30 der Umschalteneinrichtung 7 liegen daher einerseits niemals Signale an, die mittels einer Faltung mit derselben Impulsantwortfunktion erzeugt wurden, und andererseits unterscheidet sich die Zuordnung der Signale auf die Ausgänge 27, 28, 29, 30 in aufeinander folgenden Umschaltzeitintervallen. Zwei der Signale L1-L6 werden hier zudem ausgeblendet, wobei jeweils andere Signale in aufeinander folgenden Umschaltzeitintervallen ausgeblendet werden. Nur beispielhaft sei eine zufällige Auswahl der nicht durchzuschaltenden bzw. auszublendenden Signale für jedes Umschaltzeitintervall genannt.

Die entsprechenden Faltungssignale M1-M4 sind an Eingänge 31, 32, 33, 34 einer Pegelanpasseinrichtung 35 gekoppelt. Diese dynamische Pegelanpasseinrichtung 35 liefert an ihren Ausgängen 36-39 gewichtete Faltungssignale N1, N2, N3, N4. Die Pegelanpasseinrichtung 35 senkt periodisch die jeweiligen Faltungssignale M1-M4 zu den pegelangepassten Faltungssignalen N1-N4 ab. Dies kann beispielsweise durch einen zeitabhängigen Gewichtungsfaktor $w_i(t)$ geschehen:

$$(2) \quad N_i(t) = M_i(t) \cdot w_i(t)$$

In der Fig. 4 sind beispielhaft Gewichtungsfaktoren w_1, w_2, w_3, w_4 in Abhängigkeit der Zeit t dargestellt. Dabei ist die jeweilige periodische Pegelabsenkung durch die Gewichtungsfaktoren $w_i(t)$ zeitlich derart eingestellt, dass eine entsprechende Zeitkonstante für die Absenkung des jeweiligen Pegels so gewählt ist, dass sie im Wesentlichen einer Zeitkonstante für eine in dem Raum sich aufbauende Rückkopplung entspricht. Vorzugsweise ist die Periodizität der Pegelabsenkungen von $\Delta \tau \neq \Delta t$ also gegenüber der Umschaltzeitintervalle unterschiedlich gewählt. Lediglich die Größenordnungen der Zeitkonstanten für die Pegelabsenkung und der Umschaltzeitintervalle sind ähnlich. Alternativ lassen sich auch stochastische oder zufällige Pegelabsenkungen den Faltungssignalen M1, M2, M3, M4 aufprägen. Die dynamisch pegel-

abgesenkten Faltungssignalen N1, N2, N3, N4 sind schließlich einer Verzögerungseinrichtung 40 zugeführt, in der die pegelangepassten Faltungssignale N1, N2, N3, N4 jeweils Verzögerungen unterzogen werden und als Lautsprechersignale O1, O2, O3, O4, O5 an Verstärkereinrichtungen 41, 42, 43, 44, 45 geführt werden. An die Verstärkereinrichtung 41-45 sind schließlich die in dem entsprechenden Raum bzw. Konzertsaal angeordneten Lautsprecher 46-55 angeschlossen. Die Lautsprechersignale O1-O5 werden in der Verzögerungseinrichtung 40 beispielsweise als Superpositionen der pegelangepassten Faltungssignale N1, N2, N3, N4 erzeugt:

$$(3) \quad O_i = \sum_j N_j (t - \Delta t_{ij}) a_{ij},$$

wobei $i = 1, \dots, 5$ und $j = 1, \dots, 4$ läuft. Dabei sind die jeweiligen Verzögerungszeiten Δt_{ij} an die Position der jeweiligen Lautsprecher 46-55 angepasst, denen das jeweilige Lautsprechersignal zugeführt ist. Ferner können die einzelnen pegelangepassten Faltungssignale N1, N2, N3, N4 auch mit einem Gewichtungsfaktor a_{ij} versehen werden. In der Regel genügt es, eine Überlagerung der pegelangepassten Faltungssignale N1-N4 direkt am Zuhörerort durch die Wiedergabe per Lautsprecher 46-55 zu erreichen. In diesem Fall dient die Verzögerungseinrichtung lediglich der Verzögerung der Faltungssignale N1-N4. Eine zusätzliche Superposition gemäß der Gleichung (3) kann jedoch vorteilhaft sein, wenn an bestimmten Zuhörerplätzen wiedergegebene Lautsprechersignale wahrnehmbar sind, die von verschiedenen Zweigen eines erweiterten Klangsystems erzeugt werden. Eine entsprechende Weiterbildung mit drei Zweigen ist im Folgenden in der Figur 5 näher erläutert.

Die Lautsprechersignale O1-O5 sind dann jeweils so angepasst, dass an praktisch jedem Zuhörerplatz des Saales ein Direktschallsignal, welches sich über das Übertragungsmedium (Luft) in dem Saal von der Klangquelle ausbreitet, immer vor dem durch das Klangsignal erzeugte zusätzliche Klangsignal eintrifft. Die Lautsprecher sind dann bevorzugt so angeordnet, dass ein Hörerplatz von jeweils mindestens drei Lautsprechern bzw. eingespielten Echosignalen bedient wird.

Das beschriebene Klangsystem, welches mit dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben wird, weist einerseits eine sehr hohe Rückkopplungssicherheit durch die Zeit- und Richtungs-

varianz der eingespielten Signale über die Lautsprecher auf. Andererseits ist es einem Zuhörer nicht möglich, die eingespielten Signale direkt zu lokalisieren, da durch den periodischen oder auch stochastischen Wechsel, der den Lautsprechern zugeführten Klangsignale O1-O5 nach einem jeweiligen Umschaltzeitintervall, das beispielsweise 100-500 ms dauern kann, sich die Schalleinstrahlung lokal verändert. Dadurch wirkt das Klangbild natürlich und lebendig.

Durch diese Zeit- und Richtungsvarianz wird bei einem Zuhörer so psychoakustisch eine Aufmerksamkeitserhöhung erreicht, wie es auch durch beispielsweise die Richtwechsel des Schalls infolge einer Bewegung eines Musikers beim Spielen des jeweiligen Instrumentes geschieht. Somit wird selbst ohne eine Pegelerhöhung der zusätzlich durch das erfindungsgemäße Klangsystem eingespielten akustischen Signale das Zuhörerempfinden verbessert.

Durch die zeitliche und räumliche Varianz der zusätzlich eingespielten Klangsignale werden die so erzeugten wahrgenommen Reflexionen auffälliger. Daher ist nur ein verhältnismäßig niedriger Pegel der eingespielten Signale erforderlich.

Durch die Verwendung von im Wesentlichen realen Impulsantworten, deren Feinstrukturen „verbessert“ werden und so dem Klangbild oder der wahrgenommenen Akustik eines realen Raumes mit einer besonders angenehmen Akustik entsprechen, entsteht in dem mit einem erfindungsgemäßen System ausgestatteten Veranstaltungsraum ein Gesamtschallfeld aus der Überlagerung des natürlichen Raumklangs und den hinzugefügten Faltungssignalen und einer Rückwirkung dieser Einspielung über die Lautsprecher auf die Mikrofoneingänge des Systems, ohne dass störende Rückkopplungen auftreten können. Somit kann durch das erfindungsgemäße Klangsystem der natürlichen Akustik eines Raumes mit unbefriedigend wahrgenommener Akustik zusätzlicher natürlich klingender Hall zugefügt werden, um ein günstiges Klangbild entstehen zu lassen. Die wahrgenommene Akustik des Raumes lässt sich durch unterschiedlich vorgegebene Impulsantwortfunktionen vielseitig anpassen, beispielsweise für Sprachveranstaltungen, Orchestermusik, Kammermusik oder Solostimmen.

In den Figuren 5A und 5B ist eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Klangsystems dargestellt. Im Wesentlichen weist die Weiterbildung 101 drei Zweige mit jeweils einer Faltungseinrichtung 5, 105, 205, einer Umschalteinrichtung 7, 107, 207, einer dynamischen Pegelanpasseinrichtung 35, 135, 235 und eine Entzerrungseinrichtung 40, 140, 240 auf. An die Faltungseinrichtungen 5, 105, 205 sind jeweils Speicher 6, 106, 206 gekoppelt in denen

vorgegebene Impuls-Antwort-Funktionen abgespeichert vorliegen. An die Entzerrungseinrichtungen 40, 140, 240 sind jeweils Lautsprechergruppen 146, 147, 148 über Verstärker 141, 142, 143 angeschlossen. Im Wesentlichen arbeiten die Zweige nach dem erfindungsgemäßen Verfahren, wie es zu der Fig. 3 beschrieben wurde.

5

Die den Faltungseinrichtungen 5, 105, 205 zugeführten Klangsignale $G(t)$, $H(t)$, $K(t)$ werden von einer Mischereinrichtung 102 bereitgestellt, an die verzögerte und gegebenenfalls gefilterte von Mikrofonen 303, 304, 305, 306 aufgenommene Klangsignale F_1 , F_2 , F_3 zugeführt sind.

10

Die Mikrofone 303, 304, 305, 306 sind in der Nähe einer Bühne 3, auf der eine oder mehrere Klangquellen vorliegen, angeordnet. Beim Einsatz des erfindungsgemäßen Klangsystems in einem beispielsweise 5000m^3 großen Mehrzwecksaal, der für konventionelle akustische verstärkte Veranstaltungen als auch für Sprechtheater oder Orchesterkonzerte verwendet werden soll, ist eine Anordnung der Mikrofone 303, 304, 305, 306 in einem Abstand von ca. 2m vor der Bühne und einer Höhe von 5m über dem Bühnenniveau günstig. Beispielsweise können diese Mikrofone 303, 304, 305 als hochwertige Studiokondensatormikrofone mit einer Richtcharakteristik „breite Niere“ ausgeführt sein. So können meist alle Schallquellen im Bühnenbereich gut erfasst werden.

20

Die so erfassten Klangsignale E_1 , E_2 , E_3 , E_4 werden in einem Verstärker 307 vorverstärkt und dann als verstärkte Klangsignale F_1 , F_2 , F_3 , F_4 der Mischereinrichtung 102 zugeführt. Die Mischereinrichtung 102 verzögert und mischt die entsprechenden vorverstärkten Klangsignale F_1 , F_2 , F_3 , F_4 . Die Signalbearbeitung geschieht ähnlich, wie es beispielsweise bereits in der Gleichung (3) dargestellt ist, wobei die $O_i(t)$ den Signalen $G(t)$, $H(t)$ und $K(t)$ entspricht und $N_j(t)$ den vorverstärkten Klangsignalen $F_j(t)$ entspricht. Die den Faltungseinrichtungen 5, 105, 205 zugeführten Klangsignalen $G(t)$, $H(t)$, $K(t)$ weisen somit Anteile aller von den vier Mikrofonen 303, 304, 305, 306 empfangenen Signale E_1 , E_2 , E_3 , E_4 auf, wobei Signalanteile von entfernteren Mikrofonen 303, 304, 305, 306 in Abhängigkeit von der Schalllaufzeit zwischen Mikrofon und den an den jeweiligen Zweig gekoppelten Lautsprechern 146, 147, 148 berücksichtigt werden. Ist beispielsweise eine Lautsprechergruppe 146 des ersten Zweiges 100 in einem hinteren rechten Bereich des Raumes vorgesehen, werden in dem Mischer und

25

30

Verzögerer 102 Signale der Mikrofone 205, 206 stärker verzögert als die Signale der Mikrofone 203, 204, welche in der Nähe des rechten Bühnereichs angeordnet sind. Entsprechend werden dann die aufgenommenen Klangsignale der Mikrofone 303, 304, 305, 306 für in der Mitte des Raumes angeordnete Lautsprecher 147 etwa gleich stark verzögert.

5

Die Mischereinrichtung 102 kann beispielsweise als digitaler Signalprozessor ausgeführt werden, dem die vorverstärkten Signale F1, F2, F3, F4 in digitalisierter Form (beispielsweise über einen hochauflösenden Analog-Digital-Wandler, der hier nicht dargestellt ist) zugeführt werden. Die weitere Verarbeitung der Zweigsignale G(t), H(t), K(t) kann dann beispielsweise
10 mittels eines üblichen Personalcomputers erfolgen, dem die Signale über einen Digitaleingang einer Soundkarte eingekoppelt werden. Die heutige Computertechnik ermöglicht es, beispielsweise mit mehreren vernetzten Rechnern, praktisch in Echtzeit parallel die drei mal sechs verschiedenen Impulsantwortfunktionen mit den Signalen G(t), H(t), K(t) zu falten und wieder an einen DSP in periodischem Wechsel auszugeben. Die Aufgaben der Faltungsein-
15 richtung 5, 105, 205 und der Umschalteneinrichtung 7, 107, 207 können daher von einem besonders leistungsfähigen PC oder mehreren vernetzten PCs übernommen werden.

Der entsprechende nachgekoppelte digitale Signalprozessor (DSP) übernimmt die Aufgaben der dynamischen Pegelanpassung in den Pegelanpasseinrichtungen 35, 135, 235 und die Auf-
20 gaben der Verzögerungs- und Entzerrungsvorrichtungen 40, 140, 240. Letztere führen weiter die Signalqualität erhöhende Filterungen oder Entzerrungen durch, um die Übertragungsfunktion der Lautsprecher zu kompensieren. Die entsprechenden Ausgangssignale O1-O5, T1-T5 und X1-X5 werden digital analog gewandelt (beispielsweise mit einem üblichen DA-Wandler, der hier nicht dargestellt sind) und den Verstärkern 141, 142, 143 zugeführt.

25

Die Verstärker speisen jeweils zwei bis drei Lautsprecher an ihren Ausgängen, welche regelmäßig im Decken- und Wandbereich des Saales verteilt eingepasst sind. In bestimmten Fällen werden Lautsprecher auch unterhalb von Podien oder Tribünen angeordnet. Dabei soll die Dichte des Lautsprechernetzes so gewählt sein, dass jeder Zuhörerplatz von 3-4 Lautspre-
30 chern versorgt wird.

Die vorliegende Erfindung schafft also ein Verfahren und ein Klangsystem zur Verbesserung von einer wahrgenommenen Akustik eines Raumes, welches mittels elektroakustischer Beeinflussung ein natürliches und lebendiges Klangbild auf der Basis von reell ermittelten Raumeigenschaften ermöglicht. Durch die Faltung mit vorgegebenen Impulsantwortfunktionen, die aus gemessenen Impulsantwortfunktionen von möglichst idealen Räumen konstruiert sind, wird ein besonders angenehmer Raumklang erzielt. Durch die Veränderung der Einkopplungsrichtung der eingespielten zusätzlichen optimierten Klangsignale durch das Umschalten in den Umschaltvorrichtungen wird eine ungewünschte Lokalisierung der zusätzlichen Signale durch einen Zuhörer vermieden und eine besonders hohe Rückkopplungssicherheit erreicht. Durch das erfindungsgemäße Verfahren und System lassen sich die raumakustischen Eigenschaften von Veranstaltungsräumen erheblich verbessern.

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist sie nicht darauf beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

Die Anzahl der parallel geführten Faltungssignale kann beliebig verändert werden. Der Einsatz der Erfindung ist nicht auf geschlossene Räume beschränkt, sondern ein entsprechendes Klangsystem eignet sich ebenfalls zur Verbesserung der raumakustischen Wahrnehmung von offenen oder halboffenen Veranstaltungsstätten. Ferner lassen sich auch synthetisierte Impulsantwort-Funktionen als vorgegebene Impulsantwortfunktionen verwenden. Die in den Figuren dargestellten Signalverläufe sind lediglich beispielhaft zur Erläuterung zu verstehen. Größenangaben, zum Beispiel des Volumens der zu beschallenden Räume oder Mikrofonabstände, zu sind ebenfalls nur beispielhaft zu verstehen und praktisch beliebig veränder- oder skalierbar.

Bezugszeichenliste

	1	Klangsystem
5	2	Veranstaltungssaal
	3	Bühne
	4	Mikrofon
	5	Faltungseinrichtung
	6	Speicher
10	7	Umschalteinrichtung
	8, 9, 10	Eingang
	11, 12, 13	Ausgang
	14, 15, 16	Lautsprecher
	17 - 20	Zuhörerposition
15	21 - 26	Eingang
	28 - 30	Ausgang
	31 - 34	Eingang
	35 - 39	Ausgang
	40	Entzerrungseinrichtung
20	41 - 45	Verstärker
	46 - 55	Lautsprecher
	100	Klangsystem
	101	Klangsystem
	102	Mischer
25	105	Faltungseinrichtung
	106	Speicher
	107	Umschalteinrichtung
	135	Pegelanpassungseinrichtung
	140	Verzögerungseinrichtung
30	141, 142, 143	Verstärker
	146, 147, 148	Lautsprechergruppe
	205	Faltungseinrichtung

	206	Speicher
	207	Umschaltvorrichtung
	235	Pegelanpassungseinrichtung
	240	Verzögerungseinrichtung
5	303-306	Mikrofon
	307	Verstärker
	A1	Impulsantwortfunktion
	A2	Einhüllende
	A3	Schallanteil
10	DS	Direktschall
	DF	Diffusschall
	E1-E4	Mikrofonsignal
	F1-F4	vorverstärktes Signal
	G, H, K	aufgenommenes Klangsignal
15	L1-L5, P1-P6	Faltungssignal
	U1-U6	Faltungssignal
	M1-M4, Q1-Q4	geschaltetes Faltungssignal
	V1-V4	geschaltetes Faltungssignal
	N1-N4, R1-R4	pegelangepasstes Signal
20	Y1-Y4	pegelangepasstes Signal
	O1-O5, T1-T5	Lautsprechersignal
	X1-X5	Lautsprechersignal
	Δt	Umschaltzeitintervall
	w1-w4	Gewichtungsfunktion

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verbessern einer wahrgenommenen Akustik eines Raumes (1) mit den Ver-
5 fahrensschritten:
- a) Aufnehmen mindestens eines Klangssignals ($E1(t)$) über ein Aufnahmemittel (4) in der Nähe mindestens einer Klangquelle (3) in dem Raum (1);
- 10 b) Durchführen von jeweils einer Faltung des aufgenommenen Klangssignals ($E1(t)$) mit jeweils einer Impulsantwortfunktion ($gi(t)$) zum Erzeugen von unterschiedlichen optimierten Klangsinalen ($L1(t)$, $L2(t)$, $L3(t)$), wobei die jeweilige Impulsantwortfunktion aus einer Auswahl von vorgegebenen Impulsantwortfunktionen für den Raum (1) ausgewählt werden;
- 15 c) Wiedergabe der optimierten Klangsinalen ($N1$, $N2$, $N3$) über in dem Raum (1) angeordnete Klangwiedergabemittel (14, 15, 16), wobei jedem Klangwiedergabemittel (14, 15, 16) ein unterschiedliches optimiertes Klangsinal ($N1$, $N2$, $N3$) zugeführt wird, und wobei jeweils nach einem vorbestimmten Umschaltzeitintervall (Δt) die optimierten Klangsinalen ($N1$, $N2$, $N3$) den Wiedergabemitteln (14, 15, 16) derart zugeführt werden, dass keinem der
20 Wiedergabemittel (14, 15, 16) in direkt aufeinander folgenden Umschaltzeitintervallen (Δt) dasselbe optimierte Klangsinal ($N1$, $N2$, $N3$) zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
25 dass mindestens drei unterschiedliche optimierte Klangsinalen ($L1$, $L2$, $L3$) erzeugt werden und mindestens drei Wiedergabemittel (14, 15, 16) vorgesehen sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
30 dass im Schritt c) das Umschaltzeitintervall (Δt) so kurz und vorzugsweise in einem Bereich von etwa 100-500ms gewählt ist, dass zwischen einem Wiedergabemittel (14, 15, 16) und dem Aufnahmemittel (4) eine Klang verfärbende Rückkopplung ausgeschlossen ist.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Schritt c) bei einem Wechsel von einem ersten zu einem zweiten, einem Wiederga-
5 bemittel (14, 15, 16) zugeführten optimierten Klangsignal (N1, N2, N3) das jeweils erste in
das jeweils zweite optimierte Klangsignal (N1, N2, N3) weich
übergeblendet wird.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass die optimierten Klangsignale (N1, N2, N3) in einer periodischen Reihenfolge oder zufäl-
lig stochastisch verteilt an die Wiedergabemittel (14, 15, 16) geführt werden.
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass das Umschaltzeitintervall (Δt) zeitlich verändert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass im Schritt b) eine Anzahl optimierter Klangsignale (L1-L6) erzeugt wird, welche größer
ist als die Anzahl der Wiedergabemittel (14, 15, 16), und dass im Schritt c) während eines
Umschaltintervalls (Δt) mindestens eines der erzeugten optimierten Klangsignale (L1-L6)
nicht an ein Wiedergabemittel 14, 15, 16) geführt wird.
- 25 8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen ($g_i(t)$) untereinander unkorreliert sind.
9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
30 dadurch gekennzeichnet,
dass das Verfahren zum Bestimmen mindestens einer der vorgegebenen Impulsantwortfunktio-
nen ($g_i(t)$) den Schritt aufweist:

i) Messen einer Impulsantwortfunktion ($g_i(t)$) an einem Ort (17) in dem Raum (2).

10. Verfahren nach Anspruch 9,

5 dadurch gekennzeichnet,
dass die gemessene Impulsantwortfunktion ($g_i(t)$) abgespeichert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,

10 dadurch gekennzeichnet,
dass ferner ein Schritt vorgesehen ist:

ii) Entfernen oder Zufügen von Hallanteilen (A_3) zu der gemessenen Impulsantwortfunktion ($g_i(t)$) zum Erzeugen einer entsprechenden vorgegebenen Impulsantwortfunktion.

15

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 11,

dadurch gekennzeichnet,
dass die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen ($g_i(t)$) durch Messen von Impulsantwortfunktionen an mehreren Orten (17-20) in dem Raum (2) erzeugt werden.

20

13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,
dass die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen ($g_i(t)$) derart erzeugt werden, dass frühe Reflexionsanteile im Wesentlichen Mikrofonaufzeichnungen mit einem hohen Direktschallanteil (DS) entsprechen.

25

14. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,
dass die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen ($g_i(t)$) derart erzeugt werden, dass Nachhallanteile im Wesentlichen Mikrofonaufzeichnungen mit einem hohen Diffusschall (DF) entsprechen.

30

15. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die optimierten Klangsignale (M1-M4) beim Wiedergeben mit einer periodischen Pegel-
änderung beaufschlagt werden.

5

16. Verfahren nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Zeitkonstante der periodischen Pegeländerung in Abhängigkeit von einer Zeitkon-
stante für einen Rückkopplungsaufbau in dem Raum gewählt wird.

10

17. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die optimierten Klangsignale (N1, N2, N3, N4) derart verzögert werden, dass die wie-
dergegebenen optimierten Klangsignale (O1-O5) und die Klangsignale der Klangquelle (3) an
mindestens einem Ort des Raumes (2) im Wesentlichen gleichzeitig eintreffen.

15

18. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei mehreren Klangquellen die optimierten Klangsignale (N1-N4) derart verzögert wer-
den, dass ein Direktschall der Klangquellen an jedem Ort des Raumes zeitlich vor einem Re-
flexionsanteil eines wiedergegebenen optimierten Klangsignals (O1-O5) eintrifft.

20

19. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Schritt a) mehrere Einzelklangsignale (E1-E4) der Klangquelle (3) über mehrere Auf-
nahmemittel (303, 304, 305, 306) aufgenommen werden und die entsprechenden Einzelklang-
signale (E1-E4) zu einem Klangsignal (G(t), H(t), K(t)) zur Weiterverarbeitung miteinander
gemischt werden, wobei die Einzelklangsignale (E1-E4) in Abhängigkeit von den Positionen
der Aufnahmemittel (303, 304, 305, 306) verzögert werden.

25

30

20. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

dass die Einzelklangsignale (E1-E4) oder die aufgenommenen Klangsignale zum Reduzieren von höherfrequenten Anteilen gefiltert werden.

21. Klangsystem (1) für einen Raum (2), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach
5 mindestens einem der Ansprüche 1 - 20, mit:

a) mindestens einem Mikrofon (3) zum Aufnehmen mindestens eines Klangsignals (E1(t)) in der Nähe einer Klangquelle (3);

10 b) einer Faltungseinrichtung (5) zum Falten des aufgenommenen Klangsignals (E1(t)) mit vorgegebenen Impulsantwortfunktionen ($g_i(t)$) zum Erzeugen von mindestens drei optimierten Klangsignalen (L1, L2, L3);

c) einer an die Faltungseinrichtung (5) gekoppelte Umschalteneinrichtung (7); und
15

d) an die Umschalteneinrichtung (7) gekoppelten Lautsprechern (14, 15, 16) zum Wiedergeben der optimierten Klangsignale (L1, L2, L3);

e) wobei die Umschalteneinrichtung (7) jeweils nach einem Umschaltzeitintervall (Δt) die optimierten Klangsignale (L1, L2, L3) den Lautsprechern (14, 15, 16) derart zuführt, dass keinem der Lautsprecher (14, 15, 16) in direkt aufeinander folgenden Umschaltzeitintervallen (Δt) dasselbe optimierte Klangsignal (L1, L2, L3) zugeführt ist.
20

22. Klangsystem (1) nach Anspruch 21,

25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass mindestens drei optimierte Klangsignale (L1, L2, L3) durch jeweils eine Faltung des aufgenommenen Klangsignals (E1) mit drei unterschiedlichen Impulsantwortfunktionen ($g_i(t)$) erzeugt wird und mindestens drei Lautsprecher (14, 15, 16) vorgesehen sind.

30 23. Klangsystem (1) nach Anspruch 21 oder 22,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die vorgegebenen Impulsantwortfunktionen ($g_i(t)$) in einem an die Faltungseinrichtung (5) gekoppelten Speicher (6) abgespeichert vorliegen.

24. Klangsystem (1) nach einem der Ansprüche 21 - 23,

5 dadurch gekennzeichnet,

dass der Umschalteneinrichtung (7) eine Pegelanpasseinrichtung (35) zum periodischen Ändern der Pegel der optimierten Klangsignale (M1, M2, M3, M4) nachgeschaltet ist.

25. Klangsystem (1) nach einem der Ansprüche 21 - 24,

10 dadurch gekennzeichnet,

dass eine Verzögerungseinrichtung (40) zum Verzögern der optimierten Klangsignale (M1, M2, M3, M4) vorgesehen ist.

26. Klangsystem (1) nach einem der Ansprüche 21 - 25,

15 dadurch gekennzeichnet,

dass die Lautsprecher derart in dem Raum (2) angeordnet sind, dass jeweils mindestens drei Lautsprecher (14, 15, 16) an jeweils einem Ort (17) in dem Raum von einem Zuhörer wahrnehmbar sind.

20 27. Klangsystem (1, 100, 101) nach einem der Ansprüche 21 - 26,

dadurch gekennzeichnet,

dass ferner vorgesehen sind:

25 - mehrere Mikrofone (303, 304, 305, 306), welche in der Nähe einer Bühne (3) des Raumes (2) zur Aufnahme mehrerer Einzelklangsignale (E1-E4) angeordnet sind; und

- eine Mischeinrichtung (307, 102) zum Mischen der Einzelklangsignale (E1-E4) zu dem aufgenommenen Klangsignal ($G(t)$, $H(t)$, $K(t)$).

30 28. Klangsystem (101) nach einem der Ansprüche 21 - 27,

dadurch gekennzeichnet,

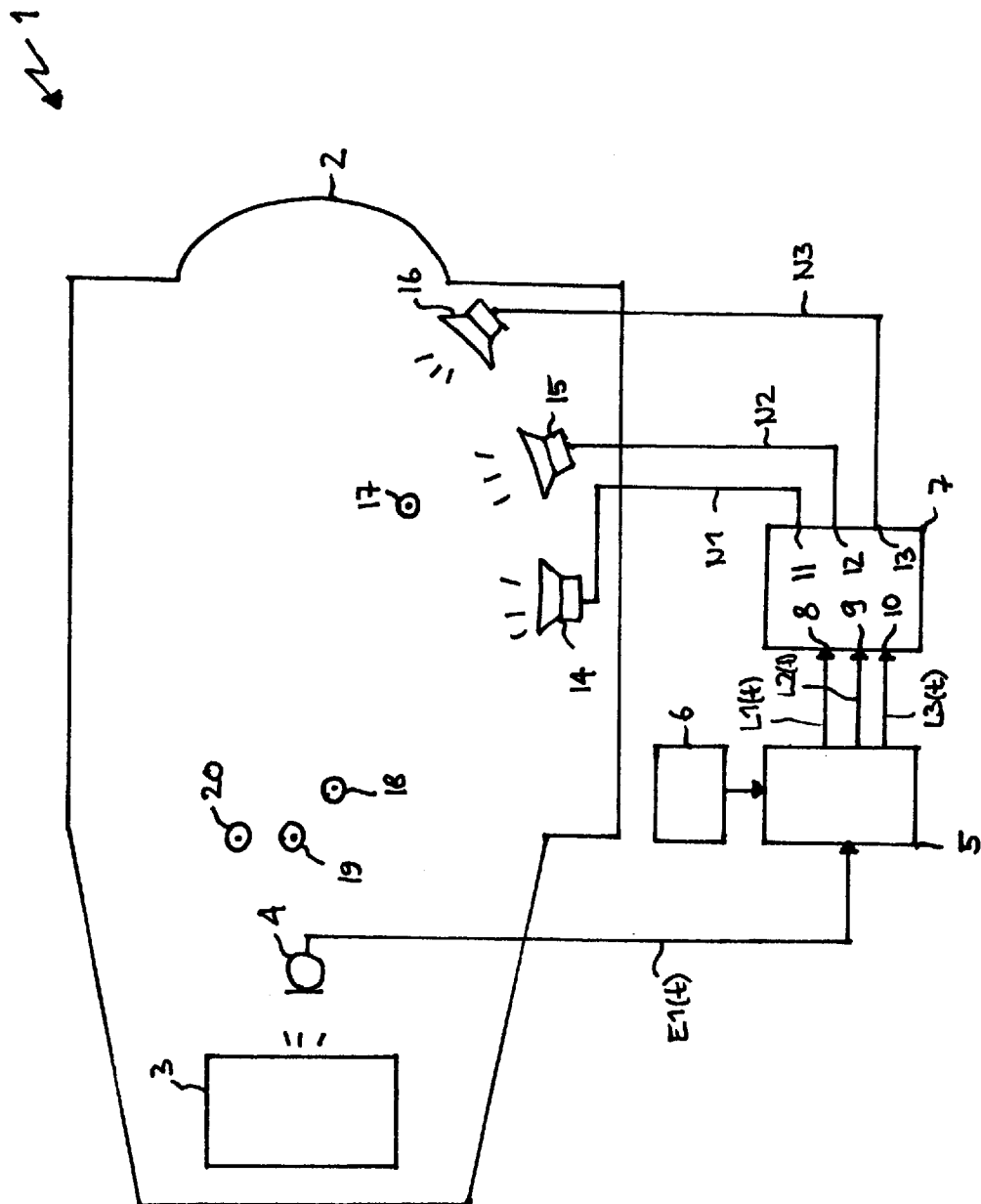
dass das Klangsystem (1) mehrere Signalzweige mit jeweils mindestens einem aufgenommenen Klangsignal ($G(t)$, $H(t)$, $K(t)$), einer Faltungseinrichtung (5, 105, 205), einer Umschalteneinrichtung (7, 107, 207) und einer Gruppe von Lautsprechern (146, 147, 148) aufweist, wobei die entsprechenden vorgegebenen Impulsantwortfunktionen ($g_i(t)$) in Abhängigkeit von den

5 Positionen der Lautsprecher gewählt sind.

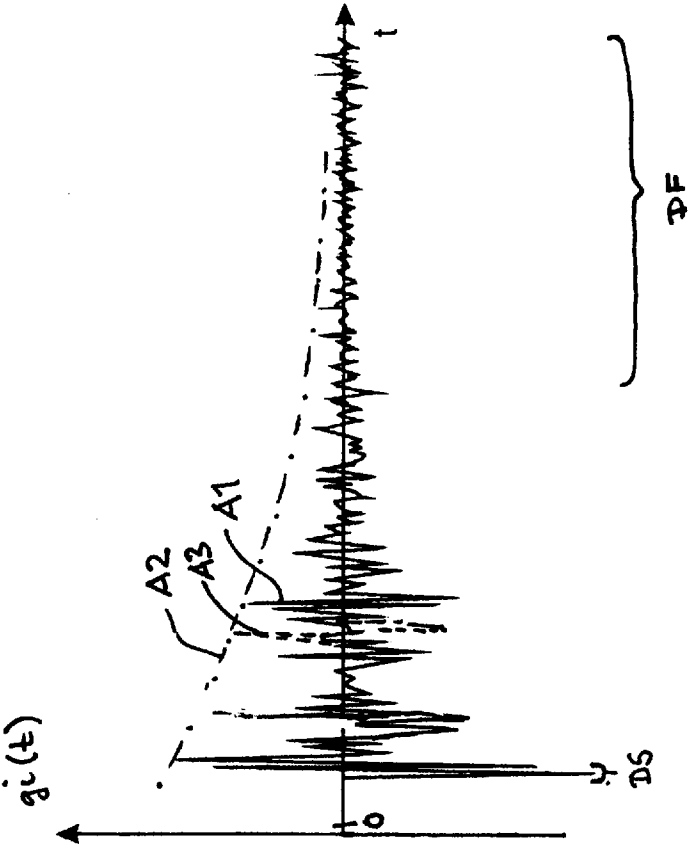
29. Veranstaltungssaal (2) mit einem Klangsystem (1) nach einem der Ansprüche 21 - 28.

10

15



Figur 1



Figur 2

100 ?

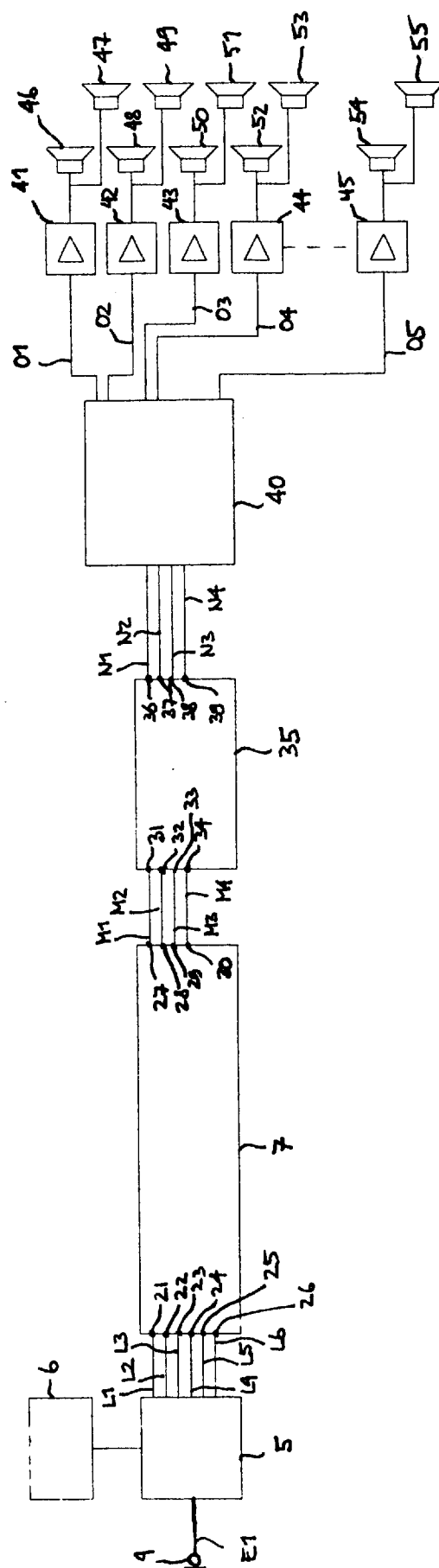


Figure 3

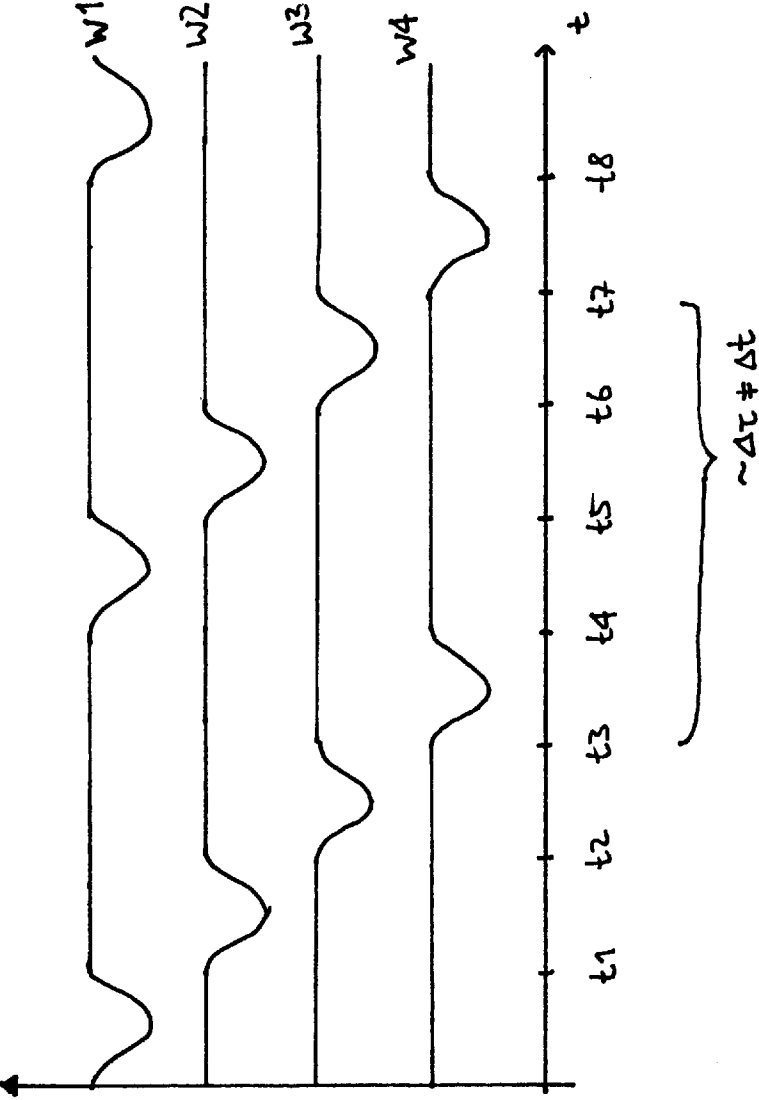


Figure 4

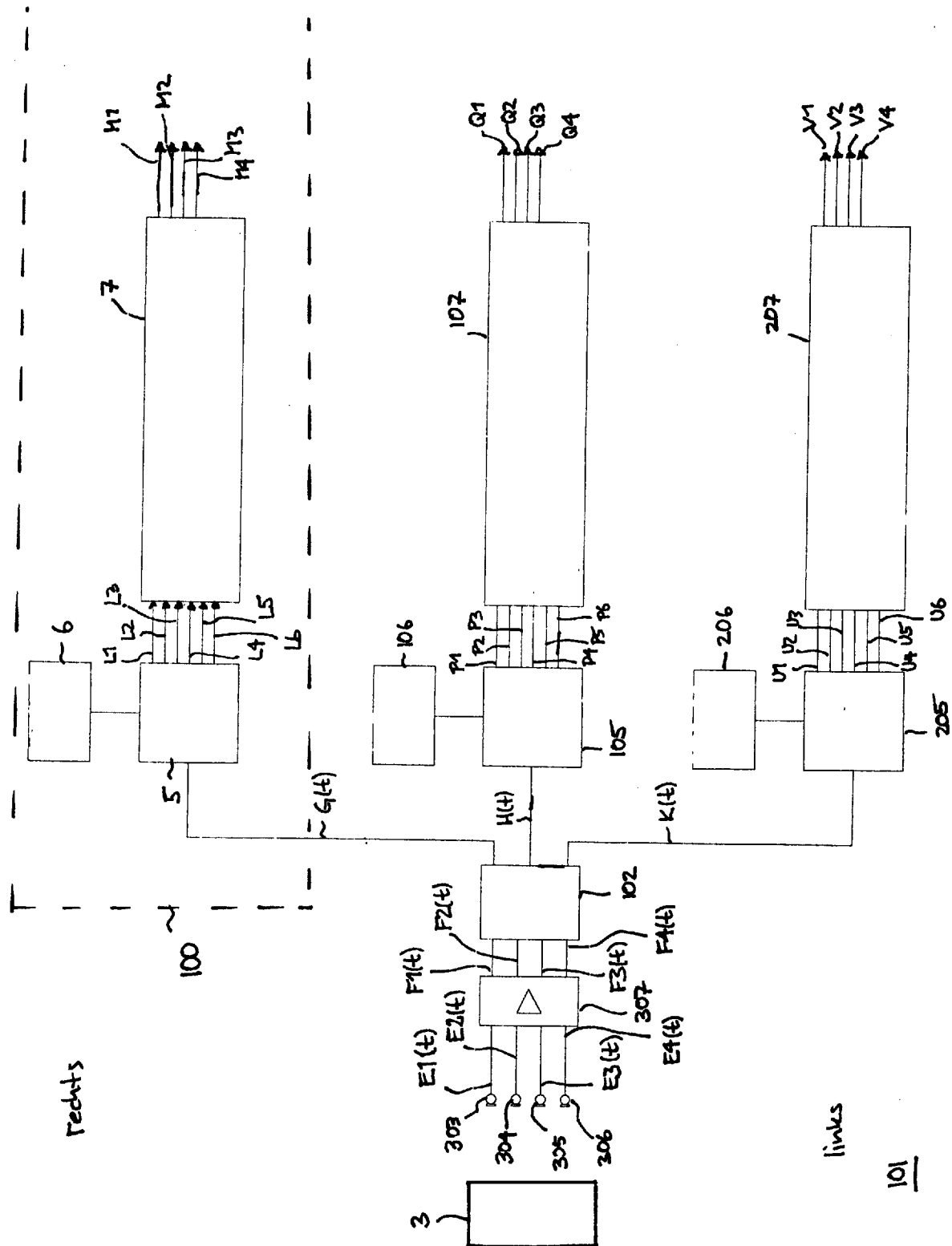


Figure 5A

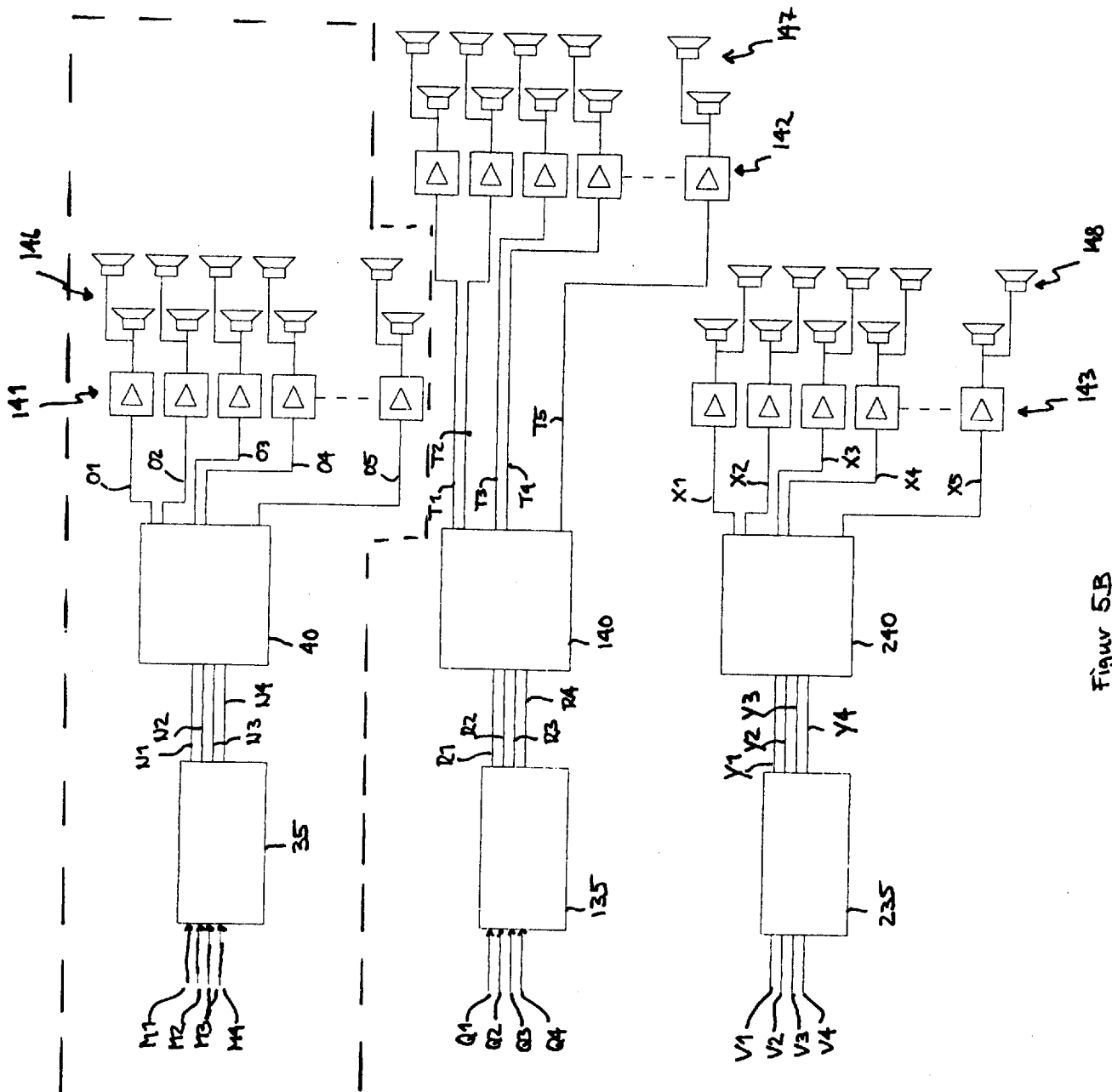


Figure 5B