



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 525 776 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
19.04.2006 Patentblatt 2006/16

(21) Anmeldenummer: **04739176.8**

(22) Anmeldetag: **11.05.2004**

(51) Int Cl.:
H04S 3/00 (2006.01) H04S 7/00 (2006.01)

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2004/005045

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/103024 (25.11.2004 Gazette 2004/48)

(54) **VORRICHTUNG ZUM PEGEL-KORRIGIEREN IN EINEM WELLENFELDSYNTHESESYSTEM**

DEVICE FOR CORRECTING THE LEVEL IN A WAVE FIELD SYNTHESIS SYSTEM

DISPOSITIF DE CORRECTION DE NIVEAU DANS UN SYSTEME DE SYNTHÈSE DE CHAMP D'ONDES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **15.05.2003 DE 10321986**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.04.2005 Patentblatt 2005/17

(73) Patentinhaber: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
80686 München (DE)

(72) Erfinder:
• **RÖDER, Thomas**
99102 Rockhausen (DE)
• **SPORER, Thomas**
90766 Fürth (DE)

(74) Vertreter: **Zinkler, Franz et al**
Patentanwälte Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler,
Postfach 246
82043 Pullach bei München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 10 254 404 DE-A- 19 706 137

- **BERKHOUT A J ET AL: "ACOUSTIC CONTROL BY WAVE FIELD SYNTHESIS" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, US, Bd. 93, Nr. 5, 1. Mai 1993 (1993-05-01), Seiten 2764-2778, XP000361413 ISSN: 0001-4966 in der Anmeldung erwähnt**

- **DE VRIES D ET AL: "Wave field synthesis and analysis using array technology" APPLICATIONS OF SIGNAL PROCESSING TO AUDIO AND ACOUSTICS, 1999 IEEE WORKSHOP ON NEW PALTZ, NY, USA 17-20 OCT. 1999, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 17. Oktober 1999 (1999-10-17), Seiten 15-18, XP010365058 ISBN: 0-7803-5612-8**
- **DE BRUIJN, BOONE: "SUBJECTIVE EXPERIMENTS ON THE EFFECTS OF COMBINING SPATIALIZED AUDIO AND 2D VIDEO PROJECTION IN AUDIO-VISUAL SYSTEMS" AUDIO ENGINEERING SOCIETY, 10. Mai 2002 (2002-05-10), Seiten 1-11, XP002300306 AES 112TH CONVENTION, MUNICH, GERMANY in der Anmeldung erwähnt**
- **BOONE M M: "Acoustic rendering with wave field synthesis" ACM SIGGRAPH AND EUROGRAPHICS CAMPFIRE: ACOUSTIC RENDERING FOR VIRTUAL ENVIRONMENTS, XX, XX, 29. Mai 2001 (2001-05-29), Seiten 1-9, XP002271770**
- **U. REITER, F. MELCHIOR, C. SEIDEL: "Automatisierte Anpassung der Akustik an virtuelle Räume"[Online] 24. September 2001 (2001-09-24), Seiten 1-4, XP002300307 46TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM, ILMENAU TECHNICAL UNIVERSITY, GERMANY Gefunden im Internet: URL: http://www.imt.tu-ilmenau.de/lehre/le_50200.html & [gefunden am 2004-10-08] in der Anmeldung erwähnt**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 525 776 B1

- THEILE G ET AL: "Wellenfeldsynthese, NEUE MOEGlichkeiten DER RAEUMLICHEN TONAUfNAHME UND -WIEDERGABE" FERNSEH UND KINOTECHNIK, VDE VERLAG GMBH. BERLIN, DE, Bd. 57, Nr. 4, April 2003 (2003-04), Seiten 735-739, XP002260015 ISSN: 0015-0142
- SPORS S., KUNTZ A., RABENSTEIN R.: "Listening room compensation for wave field synthesis" IEEE, Bd. 1, 6. Juli 2003 (2003-07-06), - 9. Juli 2003 (2003-07-09) Seiten 725-728, XP008036698 CONF-2003 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMEDIA AND EXPO, BALTIMORE, MD, USA

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Wellenfeldsynthesesysteme und insbesondere auf die Reduktion oder Eliminierung von Pegel-Artefakten in Wellenfeldsynthesesystemen.

[0002] Es besteht ein steigender Bedarf an neuen Technologien und innovativen Produkten im Bereich der Unterhaltungselektronik. Dabei ist es eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg neuer multimedialer Systeme, optimale Funktionalitäten bzw. Fähigkeiten anzubieten. Erreicht wird das durch den Einsatz digitaler Technologien und insbesondere der Computertechnik. Beispiele hierfür sind die Applikationen, die einen verbesserten realitätsnahen audiovisuellen Eindruck bieten. Bei bisherigen Audiosystemen liegt ein wesentlicher Schwachpunkt in der Qualität der räumlichen Schallwiedergabe von natürlichen, aber auch von virtuellen Umgebungen.

[0003] Verfahren zur mehrkanaligen Lautsprecherwiedergabe von Audiosignalen sind seit vielen Jahren bekannt und standardisiert. Alle üblichen Techniken besitzen den Nachteil, dass sowohl der Aufstellungsort der Lautsprecher als auch die Position des Hörers dem Übertragungsformat bereits eingeprägt sind. Bei falscher Anordnung der Lautsprecher im Bezug auf den Hörer leidet die Audioqualität deutlich. Ein optimaler Klang ist nur in einem kleinen Bereich des Wiedergaberaums, dem so genannten Sweet Spot, möglich.

[0004] Ein besserer natürlicher Raumeindruck sowie eine stärkere Einhüllung bei der Audiowiedergabe kann mit Hilfe einer neuen Technologie erreicht werden. Die Grundlagen dieser Technologie, die so genannte Wellenfeldsynthese (WFS; WFS = Wave-Field Synthesis), wurden an der TU Delft erforscht und erstmals in den späten 80er-Jahren vorgestellt (Berkhout, A.J.; de Vries, D.; Vogel, P.: Acoustic control by Wave-field Synthesis. JASA 93, 1993).

[0005] Infolge der enormen Anforderungen dieser Methode an Rechnerleistung und Übertragungsraten wurde die Wellenfeldsynthese bis jetzt nur selten in der Praxis angewendet. Erst die Fortschritte in den Bereichen der Mikroprozessortechnik und der Audiocodierung gestatten heute den Einsatz dieser Technologie in konkreten Anwendungen. Erste Produkte im professionellen Bereich werden nächstes Jahr erwartet. In wenigen Jahren sollen auch erste Wellenfeldsynthese-Anwendungen für den Konsumerbereich auf den Markt kommen.

[0006] Die Grundidee von WFS basiert auf der Anwendung des Huygens'schen Prinzips der Wellentheorie:

[0007] Jeder Punkt, der von einer Welle erfasst wird, ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle, die sich kugelförmig bzw. kreisförmig ausbreitet.

[0008] Angewandt auf die Akustik kann durch eine große Anzahl von Lautsprechern, die nebeneinander angeordnet sind (einem so genannten Lautsprecherarray), jede beliebige Form einer einlaufenden Wellenfront nachgebildet werden. Im einfachsten Fall, einer einzelnen wiederzugebenden Punktquelle und einer linearen An-

ordnung der Lautsprecher, müssen die Audiosignale eines jeden Lautsprechers mit einer Zeitverzögerung und Amplitudenskalierung so gespeist werden, dass sich die abgestrahlten Klangfelder der einzelnen Lautsprecher richtig überlagern. Bei mehreren Schallquellen wird für jede Quelle der Beitrag zu jedem Lautsprecher getrennt berechnet und die resultierenden Signale addiert. In einem Raum mit reflektierenden Wänden können auch Reflexionen als zusätzliche Quellen über das Lautsprecherarray wiedergegeben werden. Der Aufwand bei der Berechnung hängt daher stark von der Anzahl der Schallquellen, den Reflexionseigenschaften des Aufnahmerraums und der Anzahl der Lautsprecher ab.

[0009] Der Vorteil dieser Technik liegt im Besonderen darin, dass ein natürlicher räumlicher Klangeindruck über einen großen Bereich des Wiedergaberaums möglich ist. Im Gegensatz zu den bekannten Techniken werden Richtung und Entfernung von Schallquellen sehr exakt wiedergegeben. In beschränktem Maße können virtuelle Schallquellen sogar zwischen dem realen Lautsprecherarray und dem Hörer positioniert werden.

[0010] Obgleich die Wellenfeldsynthese für Umgebungen gut funktioniert, deren Beschaffenheiten bekannt sind, treten doch Unregelmäßigkeiten auf, wenn sich die Beschaffenheit ändert bzw. wenn die Wellenfeldsynthese auf der Basis einer Umgebungsbeschaffenheit ausgeführt wird, die nicht mit der tatsächlichen Beschaffenheit der Umgebung übereinstimmt.

[0011] Die Technik der Wellenfeldsynthese kann jedoch ebenfalls vorteilhaft eingesetzt werden, um eine visuelle Wahrnehmung um eine entsprechende räumliche Audiowahrnehmung zu ergänzen. Bisher stand bei der Produktion in virtuellen Studios die Vermittlung eines authentischen visuellen Eindrucks der virtuellen Szene im Vordergrund. Der zum Bild passende akustische Eindruck wird in der Regel durch manuelle Arbeitsschritte in der sogenannten Postproduktion nachträglich dem Audiosignal aufgeprägt oder als zu aufwendig und zeitintensiv in der Realisierung eingestuft und daher vernachlässigt. Dadurch kommt es üblicherweise zu einem Widerspruch der einzelnen Sinnesempfindungen, der dazu führt, daß der entworfene Raum, d. h. die entworfene Szene, als weniger authentisch empfunden wird.

[0012] In der Fachveröffentlichung "Subjective experiments on the effects of combining spatialized audio and 2D video projection in audio-visual systems", W. de Bruijn und M. Boone, AES convention paper 5582, 10. bis 13. Mai 2002, München, werden subjektive Experimente bezüglich der Auswirkungen des Kombinierens von räumlichem Audio und einer zweidimensionalen Videoprojektion in audiovisuellen Systemen dargestellt. Insbesondere wird hervorgehoben, daß zwei in einer unterschiedlichen Entfernung zu einer Kamera stehende Sprecher, die nahezu hintereinander stehen, von einem Betrachter besser verstanden werden können, wenn mit Hilfe der Wellenfeldsynthese die zwei hintereinander stehenden Personen als unterschiedliche virtuelle Schallquellen aufgefaßt und rekonstruiert werden. In diesem Fall hat

sich durch subjektive Tests herausgestellt, daß ein Zuhörer die beiden gleichzeitig sprechenden Sprecher trennt voneinander besser verstehen und unterscheiden kann.

[0013] In einem Tagungsbeitrag zum 46. internationalen wissenschaftlichen Kolloquium in Ilmenau vom 24. bis 27. September 2001 mit dem Titel "Automatisierte Anpassung der Akustik an virtuelle Räume", U. Reiter, F. Melchior und C. Seidel, wird ein Ansatz vorgestellt, Tonnachbearbeitungsprozesse zu automatisieren. Hierzu werden die für die Visualisierung notwendigen Parameter eines Film-Sets, wie z. B. Raumgröße, Textur der Oberflächen oder Kameraposition und Position der Akteure auf ihre akustische Relevanz hin überprüft, woraufhin entsprechende Steuerdaten generiert werden. Diese beeinflussen dann automatisiert die zur Postproduktion eingesetzten Effekt- und Nachbearbeitungsprozesse, wie z. B. die Anpassung der Sprecherlautstärkenabhängigkeit von der Entfernung zur Kamera oder die Nachhallzeit in Abhängigkeit von Raumgröße und Wandbeschaffenheit. Hierbei besteht das Ziel darin, den visuellen Eindruck einer virtuellen Szene für eine gesteigerte Realitätsempfindung zu verstärken.

[0014] Es soll ein "Hören mit den Ohren der Kamera" ermöglicht werden, um eine Szene echter erscheinen zu lassen. Hierbei wird eine möglichst hohe Korrelation zwischen Schallereignisort im Bild und Hörereignisort im Surroundfeld angestrebt. Das bedeutet, daß Schallquellenpositionen ständig einem Bild angepaßt sein sollen. Kameraparameter, wie z. B.

[0015] Zoom, sollen in die Tongestaltung ebenso mit einbezogen werden wie eine Position von zwei Lautsprechern L und R. Hierzu werden Trackingdaten eines virtuellen Studios zusammen mit einem zugehörigen Timecode vom System in eine Datei geschrieben. Gleichzeitig werden Bild, Ton und Timecode auf einer MAZ (Magnettaufzeichnungskarte) aufgezeichnet. Das Camdump-File wird zu einem Computer übertragen, der daraus Steuerdaten für eine Audioworkstation geniert und synchron zum von der MAZ stammenden Bild über eine MIDI-Schnittstelle ausgibt. Die eigentliche Audiobearbeitung wie Positionierung der Schallquelle im Surroundfeld und Einfügen von frühen Reflexionen und Nachhall findet innerhalb der Audioworkstation statt. Das Signal wird für ein 5.1-Surround-Lautsprechersystem aufbereitet.

[0016] Kamera-Tracking-Parameter genauso wie Positionen von Schallquellen im Aufnahme-Setting können bei realen Film-Sets aufgezeichnet werden. Solche Daten können auch in virtuellen Studios erzeugt werden.

[0017] In einem virtuellen Studio steht ein Schauspieler oder Moderator allein in einem Aufnahmerraum. Insbesondere steht er vor einer blauen Wand, die auch als Blue-Box oder Blue-Panel bezeichnet wird. Auf diese Blauwand ist ein Muster aus blauen und hellblauen Streifen aufgebracht. Das besondere an diesem Muster ist, daß die Streifen unterschiedlich breit sind und sich somit eine Vielzahl von Streifen-Kombinationen ergeben. Aufgrund der einmaligen Streifen-Kombinationen auf der

Blauwand ist es bei der Nachbearbeitung, wenn die Blauwand durch einen virtuellen Hintergrund ersetzt wird, möglich, genau zu bestimmen, in welche Richtung die Kamera blickt. Mit Hilfe dieser Informationen kann der Rechner den Hintergrund für den aktuellen Kamerablickwinkel ermitteln. Ferner werden Sensoren an der Kamera ausgewertet, die zusätzliche Kameraparameter erfassen und ausgeben. Typische Parameter einer Kamera, die mittels Sensorik erfaßt werden, sind die drei Translationsgrade x , y , z , die drei Rotationsgrade, die auch als Roll, Tilt, Pan bezeichnet werden, und die Brennweite bzw. der Zoom, der gleichbedeutend mit der Information über den Öffnungswinkel der Kamera ist.

[0018] Damit die genaue Position der Kamera auch ohne Bilderkennung und ohne aufwendige Sensortechnik bestimmt werden kann, kann man auch ein Tracking-System einsetzen, das aus mehreren Infrarot-Kameras besteht, die die Position eines an der Kamera befestigten Infrarot-Sensors ermitteln. Somit ist auch die Position der Kamera bestimmt. Mit den von der Sensorik gelieferten Kameraparametern und den von der Bilderkennung ausgewerteten Streifen-Informationen kann ein Echtzeitrechner nun den Hintergrund für das aktuelle Bild berechnen. Hierauf wird der Blau-Farbton, den der blaue Hintergrund hatte, aus dem Bild entfernt, so daß statt dem blauen Hintergrund der virtuelle Hintergrund einge spielt wird.

[0019] In der Mehrzahl der Fälle wird ein Konzept verfolgt, bei dem es darum geht, einen akustischen Gesamteindruck der visuell abgebildeten Szenerie zu bekommen. Dieses lässt sich gut mit dem aus der Bildgestaltung stammenden Begriff der "Totalen" umschreiben. Dieser "totale" Klangeindruck bleibt meist über alle Einstellungen in einer Szene konstant, obwohl sich der optische Blickwinkel auf die Dinge meist stark ändert. So werden optische Details durch entsprechende Einstellungen herausgehoben oder in den Hintergrund gestellt. Auch Gegenschüsse bei der filmischen Dialoggestaltung werden vom Ton nicht nachvollzogen.

[0020] Daher besteht der Bedarf, den Zuschauer akustisch in eine audiovisuelle Szene einzubetten. Hierbei bildet die Leinwand oder Bildfläche die Blickrichtung und den Blickwinkel des Zuschauers. Dies bedeutet, daß der Ton dem Bild in der Form nachgeführt werden soll, daß er stets mit dem gesehenen Bild übereinstimmt. Dies wird insbesondere für virtuelle Studios noch wichtiger, da es typischerweise keine Korrelation zwischen dem Ton der Moderation beispielsweise und der Umgebung gibt, in der sich der Moderator gerade befindet. Um einen audiovisuellen Gesamteindruck der Szene zu bekommen, muß ein zum gerenderten Bild passender Raumeindruck simuliert werden. Eine wesentliche subjektive Eigenschaft bei einem solchen klanglichen Konzept ist in diesem Zusammenhang der Ort einer Schallquelle, wie ihn ein Betrachter beispielsweise einer Kinoleinwand empfindet.

[0021] Im Audibereich läßt sich also durch die Technik der Wellenfeldsynthese (WFS) ein guter räumlicher

Klang für einen großen Hörerbereich erzielen. Wie es ausgeführt worden ist, basiert die Wellenfeldsynthese auf dem Prinzip von Huygens, nach welchem sich Wellenfronten durch Überlagerung von Elementarwellen formen und aufbauen lassen. Nach mathematisch exakter theoretischer Beschreibung müßten unendlich viele Quellen in unendlich kleinem Abstand für die Erzeugung der Elementarwellen genutzt werden. Praktisch werden jedoch endlich viele Lautsprecher in einem endlich kleinen Abstand zueinander genutzt. Jeder dieser Lautsprecher wird gemäß dem WFS-Prinzip mit einem Audiosignal von einer virtuellen Quelle, das ein bestimmtes Delay und einen bestimmten Pegel hat, angesteuert. Pegel und Delays sind in der Regel für alle Lautsprecher unterschiedlich.

[0022] Wie es bereits ausgeführt worden ist, arbeitet das Wellenfeldsynthesesystem auf der Basis des Huygens-Prinzips und rekonstruiert eine gegebene Wellenform beispielsweise einer virtuellen Quelle, die in einem bestimmten Abstand zu einem Vorführbereich bzw. zu einem Hörer in dem Vorführbereich angeordnet ist durch eine Vielzahl von Einzelwellen. Der Wellenfeldsynthesealgorithmus erhält somit Informationen über die tatsächliche Position eines Einzellautsprechers aus dem Lautsprecherarray, um dann für diesen Einzellautsprecher ein Komponentensignal zu berechnen, das dieser Lautsprecher dann letztendlich abstrahlen muß, damit beim Zuhörer eine Überlagerung des Lautsprechersignals von dem einen Lautsprecher mit den Lautsprechersignalen der anderen aktiven Lautsprecher eine Rekonstruktion dahingehend durchführt, daß der Hörer den Eindruck hat, daß er nicht von vielen Einzellautsprechern "beschallt" wird, sondern lediglich von einem einzigen Lautsprecher an der Position der virtuellen Quelle.

[0023] Für mehrere virtuelle Quellen in einem Wellenfeldsynthesesetting wird der Beitrag von jeder virtuellen Quelle für jeden Lautsprecher, also das Komponentensignal der ersten virtuellen Quelle für den ersten Lautsprecher, der zweiten virtuellen Quelle für den ersten Lautsprecher, etc. berechnet, um dann die Komponentensignale aufzuaddieren, um schließlich das tatsächliche Lautsprechersignal zu erhalten. Im Falle von beispielsweise drei virtuellen Quellen würde die Überlagerung der Lautsprechersignale aller aktiven Lautsprecher beim Hörer dazu führen, daß der Hörer nicht den Eindruck hat, daß er von einem großen Array von Lautsprechern beschallt wird, sondern daß der Schall, den er hört, lediglich von drei an speziellen Positionen positionierten Schallquellen kommt, die gleich den virtuellen Quellen sind.

[0024] Die Berechnung der Komponentensignale erfolgt in der Praxis meist dadurch, daß das einer virtuellen Quelle zugeordnete Audiosignal je nach Position der virtuellen Quelle und Position des Lautsprechers zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einer Verzögerung und einem Skalierungsfaktor beaufschlagt wird, um ein verzögertes und/oder skaliertes Audiosignal der virtuellen Quelle zu erhalten, das das Lautsprechersignal unmittelbar dar-

stellt, wenn nur eine virtuelle Quelle vorhanden ist, oder das nach Addition mit weiteren Komponentensignalen für den betrachteten Lautsprecher von anderen virtuellen Quellen dann zum Lautsprechersignal für den betrachteten Lautsprecher beiträgt.

[0025] Typische Wellenfeldsynthesealgorithmen arbeiten unabhängig davon, wie viele Lautsprecher im Lautsprecherarray vorhanden sind. Die der Wellenfeldsynthese zugrundeliegende Theorie besteht darin, daß jedes beliebige Schallfeld durch eine unendlich hohe Anzahl von Einzellautsprechern exakt rekonstruiert werden kann, wobei die einzelnen Einzellautsprecher unendlich nahe zueinander angeordnet sind. In der Praxis kann jedoch weder die unendlich hohe Anzahl noch die unendlich nahe Anordnung realisiert werden. Statt dessen existiert eine begrenzte Anzahl von Lautsprechern, die zudem in bestimmten vorgegebenen Abständen zueinander angeordnet sind. Damit wird in realen Systemen immer nur eine Annäherung an die tatsächliche Wellenform erreicht, die stattfinden würde, wenn die virtuelle Quelle tatsächlich vorhanden wäre, also eine reale Quelle sein würde.

[0026] Ferner existieren verschiedene Szenarien, dahingehend, daß das Lautsprecherarray nur, wenn ein Kinosaal betrachtet wird, z. B. auf der Seite der Kinoleinwand angeordnet ist. In diesem Fall würde das Wellenfeldsynthesemodul Lautsprechersignale für diese Lautsprecher erzeugen, wobei die Lautsprechersignale für diese Lautsprecher normalerweise dieselben sein werden wie für entsprechende Lautsprecher in einem Lautsprecherarray, das sich nicht nur über die Seite eines Kinos beispielsweise erstreckt, an der die Leinwand angeordnet ist, sondern das auch links, rechts und hinter dem Hörerraum angeordnet ist. Dieses "360°"-Lautsprecherarray wird natürlich eine bessere Annäherung an ein exaktes Wellenfeld schaffen als lediglich ein einseitiges Array, beispielsweise vor den Zuschauern. Dennoch sind die Lautsprechersignale für die Lautsprecher, die sich vor den Zuschauern befinden, in beiden Fällen die gleichen. Dies bedeutet, daß ein Wellenfeldsynthesemodul typischerweise keine Rückkopplung dahingehend erhält, wie viele Lautsprecher vorhanden sind bzw. ob es sich um ein einseitiges oder mehrseitiges oder gar um ein 360°-Array handelt oder nicht. Anders ausgedrückt berechnet eine Wellenfeldsyntheseeinrichtung ein Lautsprechersignal für einen Lautsprecher aufgrund der Position des Lautsprechers und unabhängig davon, welche weiteren Lautsprecher noch vorhanden sind oder nicht vorhanden sind.

[0027] Hierin besteht zwar eine wesentliche Stärke des Wellenfeldsynthesealgorithmus dahingehend, daß er optimal modular anpaßbar an verschiedene Gegebenheiten ist, indem einfach die Koordinaten der vorhandenen Lautsprecher in ganz unterschiedlichen Vorführräumen gegeben sind. Nachteilig ist jedoch, daß neben der unter Umständen hinnehmbaren schlechteren Rekonstruktion des aktuellen Wellenfeldes erhebliche Pegelartefakte entstehen. So ist für einen realen Eindruck nicht

nur entscheidend, in welcher Richtung sich die virtuelle Quelle bezüglich des Zuhörers befindet, sondern auch wie laut der Zuhörer die virtuelle Quelle hört, also welcher Pegel beim Zuhörer aufgrund einer speziellen virtuellen Quelle "ankommt". Der bei einem Zuhörer ankommende Pegel, der auf eine betrachtete virtuelle Quelle bezogen ist, ergibt sich aus der Überlagerung der einzelnen Signale der Lautsprecher.

[0028] Wird beispielsweise der Fall betrachtet, daß sich ein Lautsprecherarray von 50 Lautsprechern vor dem Zuhörer befindet, und daß das Audiosignal der virtuellen Quelle durch die Wellenfeldsyntheseeinrichtung in Komponentensignale für die 50 Lautsprecher abgebildet wird, derart, daß das Audiosignal mit unterschiedlicher Verzögerung und unterschiedlicher Skalierung von den 50 Lautsprechern gleichzeitig abgestrahlt wird, so empfindet ein Zuhörer der virtuellen Quelle einen Pegel der Quelle, der sich aus den Einzelpegeln der Komponentensignale der virtuellen Quelle in den einzelnen Lautsprechersignalen ergibt.

[0029] Wird dieselbe Wellenfeldsyntheseeinrichtung nunmehr für ein reduziertes Array verwendet, bei dem sich beispielsweise nur 10 Lautsprecher vor dem Zuhörer befinden, so ist es ohne weiteres einsichtig, daß der Pegel des Signals von der virtuellen Quelle, der sich am Ohr des Zuhörers ergibt, abgenommen hat, da gewissermaßen 40 Komponentensignale der nunmehr fehlenden Lautsprecher "fehlen".

[0030] Es kann auch der alternative Fall auftreten, bei dem sich z. B. zunächst links und rechts des Zuhörers Lautsprecher befinden, die in einer bestimmten Konstellation gegenphasig angesteuert werden, so daß sich die Lautsprechersignale von zwei gegenüberliegenden Lautsprechern aufgrund einer bestimmten von der Wellenfeldsyntheseeinrichtung berechneten Verzögerung aufheben. Wird nunmehr in einem reduzierten System z. B. auf die Lautsprecher auf der einen Seite des Zuhörers verzichtet, so erscheint die virtuelle Quelle auf einmal wesentlich lauter als sie eigentlich sein dürfte.

[0031] Während für statische Quellen zur Pegelkorrektur noch an konstante Faktoren gedacht werden könnte, ist diese Lösung dann nicht mehr tragbar, wenn die virtuellen Quellen nicht statisch sind, sondern sich bewegen. Dies ist gerade ein wesentliches Merkmal der Wellenfeldsynthese, daß sie auch und besonders sich bewegende virtuelle Quellen verarbeiten kann. Eine Korrektur mit einem konstanten Faktor würde hier zu kurz greifen, da der konstante Faktor zwar für eine Position stimmen würde, jedoch für eine andere Position der virtuellen Quelle Artefakt-steigernd wirken würde.

[0032] Wellenfeldsyntheseeinrichtungen sind ferner in der Lage, mehrere verschiedene Quellenarten nachzubilden. Eine prominente Quellenform ist die Punktquelle, bei der der Pegel proportional $1/r$ abnimmt, wobei r der Abstand zwischen einem Zuhörer und der Position der virtuellen Quelle ist. Eine andere Quellenform ist eine Quelle, die ebene Wellen aussendet. Hier bleibt der Pegel unabhängig von der Entfernung zum Hörer konstant,

da ebene Wellen durch Punktquellen erzeugt werden können, die in einem unendlichen Abstand angeordnet sind.

[0033] Gemäß der Wellenfeldsynthesetheorie stimmt bei zweidimensionalen Lautsprecheranordnungen die Pegeländerung abhängig von r bis auf einen vernachlässigbaren Fehler mit der natürlichen Pegeländerung überein. Je nach Position der Quelle können sich jedoch unterschiedliche, zum Teil erhebliche Fehler im absoluten Pegel ergeben, welche aus der Nutzung einer endlichen Anzahl von Lautsprechern statt der theoretisch geforderten unendlichen Anzahl von Lautsprechern resultiert, wie es vorstehend dargelegt worden ist.

[0034] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Konzept zur Pegel-Korrektur für Wellenfeldsynthesesysteme zu schaffen, das für bewegliche Quellen geeignet ist.

[0035] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 1, ein Verfahren gemäß Patentanspruch 17 oder ein Computer-Programm gemäß Patentanspruch 18 gelöst.

[0036] Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß die Unzulänglichkeiten eines Wellenfeldsynthesesystems mit einer (praktisch realisierbaren) endlichen Anzahl von Lautsprechern dahingehend zumindest abgemildert werden können, wenn eine Pegel-Korrektur durchgeführt wird, dahingehend, daß entweder das einer virtuellen Quelle zugeordnete Audiosignal vor der Wellenfeldsynthese oder die Komponentensignale für verschiedene Lautsprecher, die auf eine virtuelle Quelle zurückgehen, nach der Wellenfeldsynthese unter Verwendung eines Korrekturwerts manipuliert werden, um eine Abweichung zwischen einem Soll-Amplitudenzustand in einem Vorführbereich und einem Ist-Amplitudenzustand in dem Vorführbereich zu reduzieren. Der Soll-Amplitudenzustand ergibt sich dadurch, daß abhängig von der Position der virtuellen Quelle, und z. B. abhängig von einem Abstand eines Zuhörers bzw. eines optimalen Punkts in einem Vorführbereich zu der virtuellen Quelle und gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Wellenart ein Soll-Pegel als Beispiel für einen Soll-Amplitudenzustand ermittelt wird, und daß ferner ein Ist-Pegel als Beispiel für einen Ist-Amplitudenzustand beim Hörer ermittelt wird. Während der Soll-Amplitudenzustand unabhängig von der tatsächlichen Gruppierung und Art der Einzellautsprecher lediglich auf der Basis der virtuellen Quelle bzw. deren Position ermittelt wird, wird die Ist-Situation unter Berücksichtigung der Positionierung, Art und Ansteuerung der Einzellautsprecher des Lautsprecherarrays berechnet.

[0037] So kann bei einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung der Schallpegel am Ohr des Hörers im optimalen Punkt innerhalb des Vorführbereichs aufgrund eines Komponentensignale der virtuellen Quelle, das über einen Einzellautsprecher abgestrahlt wird, ermittelt werden. Entsprechend kann für die anderen Komponentensignale, die auf die virtuelle Quelle zurückgehen und über andere Lautsprecher abgestrahlt wer-

den, ebenfalls der Pegel am Ohr des Hörers im optimalen Punkt innerhalb des Vorführbereichs ermittelt werden, um dann durch Zusammenfassung dieser Pegel den tatsächlichen Ist-Pegel am Ohr des Hörers zu erhalten. Hierzu kann die Übertragungsfunktion jedes einzelnen Lautsprechers sowie der Pegel des Signals an dem Lautsprecher und der Abstand des Zuhörers im betrachteten Punkt innerhalb des Vorführbereichs zu dem einzelnen Lautsprecher berücksichtigt werden. Für einfachere Ausführungen kann die Sendecharakteristik des Lautsprechers dahingehend angenommen werden, daß er als ideale Punktquelle arbeitet. Für aufwendigere Implementierungen kann jedoch auch die Richtcharakteristik des einzelnen Lautsprechers berücksichtigt werden.

[0038] Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Konzepts besteht darin, daß bei einem Ausführungsbeispiel, bei dem Schallpegel betrachtet werden, lediglich multiplikative Skalierungen auftreten, dahingehend, daß für einen Quotient zwischen dem Soll-Pegel und dem Ist-Pegel, der den Korrekturwert ergibt, nicht der absolute Pegel beim Zuhörer oder der absolute Pegel der virtuellen Quelle erforderlich ist. Statt dessen hängt der Korrekturfaktor lediglich von der Position der virtuellen Quelle (und damit von den Positionen der Einzellautsprecher) sowie des optimalen Punkts innerhalb des Vorführbereichs ab. Diese Größen sind jedoch im Hinblick auf die Position des optimalen Punkts und die Positionen und Übertragungscharakteristika der einzelnen Lautsprecher fest vorgegeben und nicht von einem abgespielten Stück abhängig.

[0039] Daher kann das erfindungsgemäße Konzept rechenzeiteffizient als Nachschlagtabelle implementiert werden, dahingehend, daß eine Nachschlagtabelle erzeugt und verwendet wird, die Position-Korrekturfaktor-Wertepaare umfaßt, und zwar für sämtliche oder einen wesentlichen Teil von möglichen virtuellen Positionen. In diesem Fall ist dann kein On-line-Sollwertermittlungs-, Istwertermittlungs- und Sollwert/Istwert-Vergleichsalgorithmus durchzuführen. Auf diese unter Umständen rechenzeitaufwändigen Algorithmen kann verzichtet werden, wenn auf der Basis einer Position einer virtuellen Quelle auf die Nachschlagtabelle zugegriffen wird, um von dort den für diese Position der virtuellen Quelle gültigen Korrekturfaktor zu ermitteln. Um die Rechen- und Speicher-Effizienz noch weiter zu steigern, wird es bevorzugt, lediglich relativ grob gerasterte Stützwert-Paare für Positionen und zugeordnete Korrekturfaktoren in der Tabelle abzuspeichern und Korrekturfaktoren für Positionswerte, die zwischen zwei Stützwerten liegen, einseitig, zweiseitig, linear, kubisch etc. zu interpolieren.

[0040] Alternativ kann es ferner in dem einen oder anderen Fall sinnvoll sein, einen empirischen Ansatz zu verwenden, dahingehend, daß Pegelmessungen durchgeführt werden. In einem solchen Fall würde eine virtuelle Quelle mit einem bestimmten Kalibrierungspegel an einer bestimmten virtuellen Position plaziert werden. Dann würde für ein reales Wellenfeldsynthesesystem ein Wellenfeldsynthesemodul die Lautsprechersignale für

die einzelnen Lautsprecher berechnen, um schließlich am Hörer den tatsächlich aufgrund der virtuellen Quelle ankommenden Pegel zu messen. Ein Korrekturfaktor würde dann dahingehend bestimmt, daß er die Abweichung vom Sollpegel zum Istpegel zumindest reduziert oder vorzugsweise zu 0 bringt. Dieser Korrekturfaktor würde dann in der Nachschlagtabelle in Zuordnung zu der Position der virtuellen Quelle abgespeichert werden, um so nach und nach, also für viele Positionen der virtuellen Quelle, für ein bestimmtes Wellenfeldsynthesesystem in einem speziellen Vorführraum die gesamte Nachschlagtabelle zu erzeugen.

[0041] Zur Manipulation auf der Basis des Korrekturfaktors existieren mehrere Möglichkeiten. Bei einer Ausführungsform wird es bevorzugt, das Audiosignal der virtuellen Quelle, wie es beispielsweise in einem Audio-track, der aus einem Tonstudio kommt, aufgezeichnet ist, mit dem Korrekturfaktor zu manipulieren, um dann erst das manipulierte Signal in ein Wellenfeldsynthesemodul einzuspeisen. Dies führt gewissermaßen automatisch dazu, daß somit alle Komponentensignale, die auf diese manipulierte virtuelle Quelle zurückgehen, ebenfalls entsprechend gewichtet sind, und zwar im Vergleich zu dem Fall, bei dem keine Korrektur gemäß der vorliegenden Erfindung vorgenommen worden ist.

[0042] Alternativ kann es für bestimmte Anwendungsfälle auch günstig sein, nicht auf das Ursprungs-Audiosignal der virtuellen Quelle einzugreifen, sondern in die durch das Wellenfeldsynthesemodul erzeugten Komponentensignale einzugreifen, um diese Komponentensignale alle vorzugsweise mit demselben Korrekturfaktor zu manipulieren. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß der Korrekturfaktor nicht unbedingt identisch für alle Komponentensignale sein muß. Dies wird jedoch in weiten Teilen bevorzugt, um nicht die relative Skalierung der Komponentensignale zueinander, die zur Rekonstruktion der tatsächlichen Wellensituation erforderlich ist, zu stark zu beeinträchtigen.

[0043] Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß mit relativ einfachen Maßnahmen zumindest während des Betriebs eine Pegelkorrektur dahingehend vorgenommen werden kann, daß der Zuhörer zumindest im Hinblick auf die von ihm wahrgenommene Lautstärke einer virtuellen Quelle nichts davon merkt, daß nicht die eigentlich erforderlichen unendlich vielen Lautsprecher vorhanden sind, sondern lediglich eine begrenzte Menge an Lautsprechern.

[0044] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß auch dann, wenn sich eine virtuelle Quelle in einem bezüglich des Zuschauers gleichbleibenden Abstand (z. B. von links nach rechts) bewegt, diese Quelle für den Zuschauer, der beispielsweise in der Mitte vor der Leinwand sitzt, immer gleich laut ist und nicht einmal lauter und einmal leiser ist, was ohne Korrektur der Fall sein würde.

[0045] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß sie die Option dahingehend liefert, preisgünstigere Wellenfeldsynthesesysteme mit einer

geringeren Anzahl von Lautsprechern anzubieten, die dennoch insbesondere bei sich bewegenden Quellen keine Pegelartefakte mit sich bringen, also für einen Zuhörer im Hinblick auf die Pegelproblematik genau so gut wirken wie aufwendigere Wellenfeldsynthesesysteme mit einer hohen Anzahl an Lautsprechern. Auch für Löcher im Array können eventuell zu niedrige Pegel erfindungsgemäß korrigiert werden.

[0046] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detailliert erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Pegel-Korrigieren in einem Wellenfeldsynthesesystem;
- Fig. 2 ein Prinzipschaltbild einer Wellenfeldsyntheseumgebung, wie sie für die vorliegende Erfindung einsetzbar ist;
- Fig. 3 eine detailliertere Darstellung des in Fig. 2 gezeigten Wellenfeldsynthesemoduls;
- Fig. 4 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Einrichtung zum Ermitteln des Korrekturwerts gemäß einem Ausführungsbeispiel mit Nachschlagtabelle und gegebenenfalls Interpolations-einrichtung;
- Fig. 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel der Einrichtung zum Ermitteln von Fig. 1 mit Sollwert/Istwert-Ermittlung und anschließendem Vergleich;
- Fig. 6a ein Blockschaltbild eines Wellenfeldsynthesemoduls mit eingebetteter Manipulationseinrichtung zur Manipulation der Komponenten-signale;
- Fig. 6b ein Blockschaltbild eines weiteren Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung mit einer vorgeschalteten Manipulationseinrichtung;
- Fig. 7a eine Skizze zur Erläuterung des Soll-Amplitudenzustands an einem Optimal-Punkt in einem Vorführbereich;
- Fig. 7b eine Skizze zur Erläuterung des Ist-Amplitudenzustands an einem Optimal-Punkt in dem Vorführbereich; und
- Fig. 8 ein prinzipielles Blockschaltbild eines Wellenfeldsynthesesystems mit Wellenfeldsynthesemodul und Lautsprecherarray in einem Vorführbereich.

[0047] Bevor detailliert auf die vorliegende Erfindung eingegangen wird, wird nachfolgend anhand von Fig. 8 der prinzipielle Aufbau eines Wellenfeldsynthesesystems dargestellt. Das Wellenfeldsynthesesystem hat ein Lautsprecherarray 800, das bezüglich eines Vorführbereichs 802 plaziert ist. Im einzelnen umfaßt das in Fig. 8 gezeigte Lautsprecherarray, das ein 360°-Array ist, vier Arrayseiten 800a, 800b, 800c und 800d. Ist der Vorführbereich 802 z. B. ein Kinosaal, so wird bezüglich der Konventionen vorne/hinten oder rechts/links davon ausgegangen, daß sich die Kinoleinwand auf derselben Seite des Vorführbereichs 802 befindet, an der auch das Teil-Array 800c angeordnet ist. In diesem Fall würde der Betrachter, der an dem hier so genannten Optimal-Punkt P in dem Vorführbereich 802 sitzt, nach vorne, also auf die Leinwand, sehen. Hinter dem Zuschauer würde sich dann das Teil-Array 800a befinden, während sich links vom Zuschauer das Teil-Array 800d befinden würde, und während sich rechts vom Zuschauer das Teil-Array 800b befinden würde. Jedes Lautsprecherarray besteht aus einer Anzahl von verschiedenen Einzellautsprechern 808, die jeweils mit eigenen Lautsprechersignalen angesteuert werden, die von einem Wellenfeldsynthesemodul 810 über einen in Fig. 8 lediglich schematisch gezeigten Datenbus 812 bereitgestellt werden. Das Wellenfeldsynthesemodul ist ausgebildet, um unter Verwendung der Informationen über z. B. Art und Lage der Lautsprecher bezüglich des Vorführbereichs 802, also von Lautsprecher-Informationen (LS-Infos), und gegebenenfalls mit sonstigen Inputs Lautsprechersignale für die einzelnen Lautsprecher 808 zu berechnen, die jeweils von den Audiotracks für virtuelle Quellen, denen ferner Positionsinformationen zugeordnet sind, gemäß den bekannten Wellenfeldsynthesealgorithmen abgeleitet werden. Das Wellenfeldsynthesemodul kann ferner noch weitere Eingaben erhalten, wie beispielsweise Informationen über die Raumakustik des Vorführbereichs etc.

[0048] Die nachfolgenden Ausführungen zur vorliegenden Erfindung können prinzipiell für jeden Punkt P in dem Vorführbereich durchgeführt werden. Der Optimal-Punkt kann somit an jeder beliebigen Stelle im Vorführbereich 802 liegen. Es kann auch mehrere Optimal-Punkte, z. B. auf einer Optimal-Linie, geben. Um jedoch möglichst gute Verhältnisse für möglichst viele Punkte im Vorführbereich 802 zu erhalten, wird es bevorzugt, den Optimal-Punkt bzw. die Optimal-Linie in der Mitte bzw. am Schwerpunkt des Wellenfeldsynthesesystems, das durch die Lautsprecher-Teilarrays 800a, 800b, 800c, 800d definiert ist, anzunehmen.

[0049] Eine detailliertere Darstellung des Wellenfeldsynthesemoduls 800 wird nachfolgend anhand der Fig. 2 und 3 Bezug nehmend auf das Wellenfeldsynthesemodul 200 in Fig. 2 bzw. auf die in Fig. 3 detailliert dargestellte Anordnung gegeben.

[0050] Fig. 2 zeigt eine Wellenfeldsyntheseumgebung, in der die vorliegende Erfindung implementiert werden kann. Zentrum einer Wellenfeldsyntheseumgebung ist ein Wellenfeldsynthesemodul 200, das diverse Ein-

gänge 202, 204, 206 und 208 sowie diverse Ausgänge 210, 212, 214, 216 umfaßt. Über Eingänge 202 bis 204 werden dem Wellenfeldsynthesemodul verschiedene Audiosignale für virtuelle Quellen zugeführt. So empfängt der Eingang 202 z. B. ein Audiosignal der virtuellen Quelle 1 sowie zugeordnete Positionsinformationen der virtuellen Quelle. In einem Kinosetting beispielsweise wäre das Audiosignal 1 z. B. die Sprache eines Schauspielers, der sich von einer linken Seite der Leinwand zu einer rechten Seite der Leinwand und möglicherweise zusätzlich noch vom Zuschauer weg bzw. zum Zuschauer hin bewegt. Das Audiosignal 1 wäre dann die tatsächliche Sprache dieses Schauspielers, während die Positionsinformationen als Funktion der Zeit die zu einem bestimmten Zeitpunkt aktuelle Position des ersten Schauspielers im Aufnahmesetting darstellt. Dagegen wäre das Audiosignal n die Sprache beispielsweise eines weiteren Schauspielers, der sich gleich oder anders als der erste Schauspieler bewegt. Die aktuelle Position des anderen Schauspielers, dem das Audiosignal n zugeordnet ist, wird durch mit dem Audiosignal n synchronisierte Positionsinformationen dem Wellenfeldsynthesemodul 200 mitgeteilt. In der Praxis existieren verschiedene virtuelle Quellen je nach Aufnahmesetting, wobei das Audiosignal jeder virtuellen Quelle als eigener Audiotrack dem Wellenfeldsynthesemodul 200 zugeführt wird.

[0051] Wie es vorstehend dargelegt worden ist, speist ein Wellenfeldsynthesemodul eine Vielzahl von Lautsprechern LS1, LS2, LS3,..., LSn durch Ausgabe von Lautsprechersignalen über die Ausgänge 210 bis 216 zu den einzelnen Lautsprechern. Dem Wellenfeldsynthesemodul 200 werden über den Eingang 206 die Positionen der einzelnen Lautsprecher in einem Wiedergabesetting, wie beispielsweise einem Kinosaal mitgeteilt. Im Kinosaal befinden sich um den Kinozuschauer herum gruppiert viele einzelne Lautsprecher, die in Arrays vorzugsweise derart angeordnet sind, daß sich sowohl vor dem Zuschauer, also beispielsweise hinter der Leinwand, als auch hinter dem Zuschauer sowie rechts und links des Zuschauers Lautsprecher befinden. Ferner können dem Wellenfeldsynthesemodul 200 noch sonstige Eingaben mitgeteilt werden, wie beispielsweise Informationen über die Raumakustik etc., um in einem Kinosaal die tatsächliche während des Aufnahmesettings herrschende Raumakustik simulieren zu können.

[0052] Allgemein gesagt wird das Lautsprechersignal, das beispielsweise dem Lautsprecher LS1 über den Ausgang 210 zugeführt wird, eine Überlagerung von Komponentensignalen der virtuellen Quellen sein, dahingehend, daß das Lautsprechersignal für den Lautsprecher LS1 eine erste Komponente, die auf die virtuelle Quelle 1 zurückgeht, eine zweite Komponente, die auf die virtuelle Quelle 2 zurückgeht, sowie eine n-te Komponente, die auf die virtuelle Quelle n zurückgeht, umfassen. Die einzelnen Komponentensignale werden linear superponiert, also nach ihrer Berechnung addiert, um die lineare Superposition am Ohr des Zuhörers nachzubilden, der in einem realen Setting eine lineare Überlagerung der

von ihm wahrnehmbaren Schallquellen hören wird.

[0053] Nachfolgend wird Bezug nehmend auf Fig. 3 eine detailliertere Ausgestaltung des Wellenfeldsynthesemoduls 200 dargelegt. Das Wellenfeldsynthesemodul 200 hat einen stark parallelen Aufbau dahingehend, daß ausgehend von dem Audiosignal für jede virtuelle Quelle und ausgehend von den Positionsinformationen für die entsprechende virtuelle Quelle zunächst Verzögerungsinformationen V_i sowie Skalierungsfaktoren SF_i berechnet werden, die von den Positionsinformationen und der Position des gerade betrachteten Lautsprechers, z. B. dem Lautsprecher mit der Ordnungsnummer j, also LSj, abhängen. Die Berechnung einer Verzögerungsinformation V_i sowie eines Skalierungsfaktors SF_i aufgrund der Positionsinformationen einer virtuellen Quelle und der Lage des betrachteten Lautsprechers j geschieht durch bekannte Algorithmen, die in Einrichtungen 300, 302, 304, 306 implementiert sind. Auf der Basis der Verzögerungsinformationen $V_i(t)$ und $SF_i(t)$ sowie auf der Basis des der einzelnen virtuellen Quelle zugeordneten Audiosignals $AS_i(t)$ wird für einen aktuellen Zeitpunkt t_A ein diskreter Wert $AW_i(t_A)$ für das Komponentensignal K_{ij} in einem letztendlich erhaltenen Lautsprechersignal berechnet. Dies erfolgt durch Einrichtungen, 310, 312, 314, 316, wie sie in Fig. 3 schematisch dargestellt sind. Fig. 3 zeigt ferner gewissermaßen eine "Blitzlichtaufnahme" zum Zeitpunkt t_A für die einzelnen Komponentensignale. Die einzelnen Komponentensignale werden dann durch einen Summierer 320 summiert, um den diskreten Wert für den aktuellen Zeitpunkt t_A des Lautsprechersignals für den Lautsprecher j zu ermitteln, der dann für den Ausgang (beispielsweise der Ausgang 214, wenn der Lautsprecher j der Lautsprecher LS3 ist), dem Lautsprecher zugeführt werden kann.

[0054] Wie es aus Fig. 3 ersichtlich ist, wird zunächst für jede virtuelle Quelle einzeln ein aufgrund einer Verzögerung und einer Skalierung mit einem Skalierungsfaktor zu einem aktuellen Zeitpunkt gültiger Wert berechnet, wonach sämtliche Komponentensignale für einen Lautsprecher aufgrund der verschiedenen virtuellen Quellen summiert werden. Wäre beispielsweise nur eine virtuelle Quelle vorhanden, so würde der Summierer entfallen, und das am Ausgang des Summierers in Fig. 3 anliegende Signal würde z. B. dem Signal entsprechen, das von der Einrichtung 310 ausgegeben wird, wenn die virtuelle Quelle 1 die einzige virtuelle Quelle ist.

[0055] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß an dem Ausgang 322 von Fig. 3 der Wert eines Lautsprechersignals erhalten wird, das eine Überlagerung der Komponentensignale für diesen Lautsprecher aufgrund der verschiedenen virtuellen Quellen 1, 2, 3, ..., n ist. Eine Anordnung, wie sie in Fig. 3 gezeigt ist, wäre prinzipiell für jeden Lautsprecher 808 im Wellenfeldsynthesemodul 810 vorgesehen, es sei denn, daß, was aus praktischen Gründen bevorzugt wird, immer z. B. 2, 4 oder 8 zusammenliegende Lautsprecher mit demselben Lautsprechersignal angesteuert werden.

[0056] Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild der erfindungs-

gemäßen Vorrichtung zum Pegel-Korrigieren in einem Wellenfeldsynthesesystem, das Bezug nehmend auf Fig. 8 dargelegt worden ist. Das Wellenfeldsynthesesystem umfaßt das Wellenfeldsynthesemodul 810 sowie das Lautsprecherarray 800 zur Schallversorgung des Vorführbereichs 802, wobei das Wellenfeldsynthesemodul 810 ausgebildet ist, um ein einer virtuellen Schallquelle zugeordnetes Audiosignal sowie der virtuellen Schallquelle zugeordnete Quellenpositionsinformationen zu empfangen und unter Berücksichtigung von Lautsprecher-Positionsinformationen Komponentensignale für die Lautsprecher aufgrund der virtuellen Quelle zu berechnen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfaßt zunächst eine Einrichtung 100 zum Ermitteln eines Korrekturwerts, der auf einem Soll-Amplitudenzustand in dem Vorführbereich basiert, wobei der Soll-Amplitudenzustand von einer Position der virtuellen Quelle oder einer Art der virtuellen Quelle abhängt, und wobei der Korrekturwert ferner auf einem Ist-Amplitudenzustand in dem Vorführbereich basiert, der von den Komponentensignalen für die Lautsprecher aufgrund der virtuellen Quelle abhängt.

[0057] Die Einrichtung 100 hat einen Eingang 102 zum Erhalten einer Position der virtuellen Quelle, wenn sie z. B. eine Punktquellencharakteristik hat, oder zum Erhalten von Informationen über eine Art der Quelle, wenn die Quelle z. B. eine Quelle zur Erzeugung von ebenen Wellen ist. In diesem Fall ist der Abstand des Zuhörers von der Quelle zur Bestimmung des Ist-Zustands nicht nötig, da sich die Quelle aufgrund der erzeugten ebenen Wellen im Modell gedacht ohnehin unendlich weit entfernt von dem Hörer befindet und einen positionsunabhängigen Pegel hat. Die Einrichtung 100 ist ausgebildet, um ausgangsseitig einen Korrekturwert 104 auszugeben, der einer Einrichtung 106 zum Manipulieren eines der virtuellen Quelle zugeordneten Audiosignals (das über einen Eingang 108 erhalten wird) oder zum Manipulieren von Komponentensignalen für die Lautsprecher aufgrund einer virtuellen Quelle (die über einen Eingang 110 erhalten werden), zu manipulieren. Falls die Alternative des Manipulierens des Audiosignals, das über den Eingang 108 bereitgestellt wird, durchgeführt wird, ergibt sich an einem Ausgang 112 ein manipuliertes Audiosignal, das dann erfindungsgemäß statt des ursprünglichen Audiosignals, das am Eingang 108 bereitgestellt wird, in das Wellenfeldsynthesemodul 200 eingespeist wird, um die einzelnen Lautsprechersignale 210, 212, ..., 216 zu erzeugen.

[0058] Wurde dagegen die andere Alternative zum Manipulieren verwendet, nämlich die gewissermaßen eingebettete Manipulation der Komponentensignale, die über den Eingang 110 erhalten worden sind, so werden ausgangsseitig manipulierte Komponentensignale erhalten, die noch Lautsprecher-weise aufsummiert werden müssen (Einrichtung 116), und zwar mit gegebenenfalls manipulierten Komponentensignalen von anderen virtuellen Quellen, die über weitere Eingänge 118 bereitgestellt werden. Ausgangsseitig liefert die Einrichtung

116 wieder die Lautsprechersignale 210, 212, ..., 216. Es sei darauf hingewiesen, daß die in Fig. 1 gezeigten Alternativen der vorgeschalteten Manipulation (Ausgang 112) oder der eingebetteten Manipulation (Ausgang 114) alternativ zueinander verwendet werden können. Je nach Ausführungsform kann es jedoch auch Fälle geben, in denen der Gewichtungsfaktor bzw. Korrekturwert, der über den Eingang 104 in die Einrichtung 106 bereitgestellt wird, gewissermaßen gesplittet wird, so daß teilweise eine vorgeschaltete Manipulation und teilweise eine eingebettete Manipulation durchgeführt wird.

[0059] Im Hinblick auf Fig. 3 würde die vorgeschaltete Manipulation somit darin bestehen, daß das Audiosignal der virtuellen Quelle, das in eine Einrichtung 310, 312, 314 bzw. 316 eingespeist wird, vor seiner Einspeisung manipuliert wird. Die eingebettete Manipulation würde dagegen darin bestehen, daß die von den Einrichtungen 310, 312, 314 bzw. 316 ausgegebenen Komponentensignale vor ihrer Summation, um tatsächliche Lautsprechersignal zu erhalten, manipuliert werden.

[0060] Diese beiden Möglichkeiten, die entweder alternativ oder kumulativ verwendbar sind, sind in den Fig. 6a und Fig. 6b dargestellt. So zeigt Fig. 6a die eingebettete Manipulation durch die Manipulationseinrichtung 106, die in Fig. 6a als Multiplizierer gezeichnet ist. Eine Wellenfeldsyntheseeinrichtung, die beispielsweise aus den Blöcken 300, 310 bzw. 302, 312, bzw. 304, 314 und 306 bzw. 316 von Fig. 3 besteht, liefert die Komponentensignale K_{11} , K_{12} , K_{13} für den Lautsprecher LS1 bzw. die Komponentensignale K_{n1} , K_{n2} und K_{n3} für den Lautsprecher LSn.

[0061] In der in Fig. 6a gewählten Notation zeigt der erste Index von K_{ij} den Lautsprecher an, und zeigt der zweite Index die virtuelle Quelle an, von der das Komponentensignal stammt. Die virtuelle Quelle 1 beispielsweise äußert sich in dem Komponentensignal K_{11} , ..., K_{n1} . Um den Pegel der virtuellen Quelle 1 abhängig von den Positionsinformationen der virtuellen Quelle 1 (ohne Beeinflussung der Pegel der anderen virtuellen Quellen) selektiv zu beeinflussen, wird bei der in Fig. 6a gezeigten eingebetteten Manipulation eine Multiplikation der Komponentensignale, die zu der Quelle 1 gehören, also der Komponentensignale, deren Index j auf die virtuelle Quelle 1 hinweist, mit dem Korrekturfaktor F_1 stattfinden. Um eine entsprechende Amplituden- bzw. Pegelkorrektur für die virtuelle Quelle 2 durchzuführen, werden sämtliche Komponentensignale, die auf die virtuelle Quelle 2 zurückgehen, mit einem hierfür bestimmten Korrekturfaktor F_2 multipliziert. Schließlich werden auch die Komponentensignale, die auf die virtuelle Quelle 3 zurückgehen, durch einen entsprechenden Korrekturfaktor F_3 gewichtet.

[0062] Es sei darauf hingewiesen, daß die Korrekturfaktoren F_1 , F_2 und F_3 , wenn alle sonstigen geometrischen Parameter gleich sind, lediglich von der Position der entsprechenden virtuellen Quelle abhängen. Würden somit alle drei virtuellen Quellen z. B. Punktquellen (also gleicher Art) sein und an derselben Position sein, so wäre

die Korrekturfaktoren für die Quellen identisch. Diese Gesetzmäßigkeit wird noch Bezug nehmend auf Fig. 4 näher erläutert, da es zur Rechenzeitvereinfachung möglich ist, eine Nachschlagtabelle mit Positionsinformationen und jeweils zugeordneten Korrekturfaktoren zu verwenden, die zwar irgendwann erstellt werden muß, auf die jedoch im Betrieb schnell zugegriffen werden kann, ohne daß im Betrieb ständig eine Sollwert/Istwert-Berechnungs- und Vergleichs-Operation durchgeführt werden muß, was jedoch prinzipiell ebenfalls möglich ist.

[0063] Fig. 6b zeigt die erfindungsgemäße Alternative zur Quellenmanipulation. Die Manipulationseinrichtung ist hier der Wellenfeldsyntheseeinrichtung vorgeschaltet und ist wirksam, um die Audiosignale der Quellen mit den entsprechenden Korrekturfaktoren zu korrigieren, um manipulierte Audiosignale für die virtuellen Quellen zu erhalten, die dann der Wellenfeldsyntheseeinrichtung zugeführt werden, um die Komponentensignale zu erhalten, die dann von den jeweiligen Komponentensummen- einrichtungen aufsummiert werden, um die Lautsprecher- signale LS für die entsprechenden Lautsprecher, wie beispielsweise den Lautsprecher LS_i , zu erhalten.

[0064] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel (Fig. 4) der vorliegenden Erfindung ist die Einrichtung 100 zum Ermitteln des Korrekturwerts als Nachschlagtabelle 400 ausgebildet, die Position-Korrekturfaktor-Wertepaare speichert. Die Einrichtung 100 ist vorzugsweise ferner mit einer Interpolationseinrichtung 402 versehen, um einerseits die Tabellengröße der Nachschlagtabelle 400 in einem begrenzten Rahmen zu halten, und um andererseits auch für aktuelle Positionen einer virtuellen Quelle, die über einen Eingang 404 in die Interpolationseinrichtung eingespeist werden, zumindest unter Verwendung einer oder mehrerer benachbarter in der Nachschlagtabelle gespeicherten Position-Korrekturfaktor-Wertepaare, die der Interpolationseinrichtung 402 über einen Eingang 406 zugeführt werden, einen interpolierten aktuellen Korrekturfaktor an einem Ausgang 408 zu erzeugen. Bei einer einfacheren Version kann die Interpolationseinrichtung 402 jedoch auch weggelassen werden, so daß die Einrichtung 100 zum Ermitteln von Fig. 1 einen direkten Zugriff unter Verwendung von an einem Eingang 410 zugeführten Positionsinformationen auf die Nachschlagtabelle durchführt und an einem Ausgang 412 einen entsprechenden Korrekturfaktor liefert. Entsprechen die aktuellen Positionsinformationen, die dem Audiorecord der virtuellen Quelle zugeordnet sind, nicht genau einer Positionsinformation, die in der Nachschlagtabelle zu finden ist, so kann der Nachschlagtabelle noch eine einfache Abrundungs-/Aufrundungs-Funktion zugeordnet sein, um den nächstliegenden in der Tabelle gespeicherten Stützwert statt des aktuellen Stützwerts zu nehmen.

[0065] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für verschiedene Quellenarten verschiedene Tabellen angelegt werden können, oder dass einer Position nicht nur ein Korrekturfaktor zugeordnet ist, sondern mehrere

Korrekturfaktoren, wobei jeder Korrekturfaktor mit einer Quellenart verknüpft ist.

[0066] Alternativ kann statt der Nachschlagtabelle oder zur "Auffüllung" der Nachschlagtabelle in Fig. 4 die Einrichtung zum Ermitteln ausgebildet sein, um tatsächlich einen Sollwert-Istwert-Vergleich durchzuführen. In diesem Fall (Fig. 5) umfaßt die Einrichtung 100 von Fig. 1 eine Soll-Amplituden-Zustandsermittlungseinrichtung 500 sowie eine Ist-Amplituden-Zustandsermittlungseinrichtung 502, um einen Soll-Amplitudenzustand 504 sowie einen Ist-Amplitudenzustand 506 zu liefern, die einer Vergleichseinrichtung 508 zugeführt werden, die beispielsweise einen Quotienten aus dem Soll-Amplitudenzustand 504 und dem Ist-Amplitudenzustand 506 berechnet, um einen Korrekturfaktor 510 zu erzeugen, der der Einrichtung 106 zum Manipulieren, die in Fig. 1 gezeigt ist, zur weiteren Verwendung zugeführt wird. Alternativ kann der Korrekturwert auch in einer Nachschlagtabelle abgespeichert werden.

[0067] Die Soll-Amplituden-Zustandsberechnung ist ausgebildet, um einen Soll-Pegel am Optimal-Punkt für eine an einer bestimmten Position bzw. in einer bestimmten Art ausgestaltete virtuelle Quelle zu ermitteln. Für die Soll-Amplitudenzustandsberechnung benötigt die Soll-Amplitudenzustandsermittlungseinrichtung 500 selbstverständlich keine Komponentensignale, da der Soll-Amplitudenzustand von den Komponentensignalen unabhängig ist. Komponentensignale werden jedoch, wie es aus Fig. 5 ersichtlich ist, der Ist-Amplitudenermittlungseinrichtung 502 zugeführt, die ferner je nach Ausführungsform auch noch Informationen über die Lautsprecherpositionen sowie Informationen über Lautsprecher-Übertragungsfunktionen und/oder Informationen über Richtcharakteristika der Lautsprecher erhalten kann, um eine Ist-Situation so gut als möglich zu ermitteln. Alternativ kann die Ist-Amplitudenzustandsermittlungseinrichtung 502 auch als tatsächliches Meßsystem ausgebildet sein, um eine Ist-Pegelsituation an dem Optimal-Punkt für bestimmte virtuelle Quellen an bestimmten Positionen zu ermitteln.

[0068] Nachfolgend wird Bezug nehmend auf Fig. 7a und Fig. 7b auf den Ist-Amplitudenzustand bzw. den Soll-Amplitudenzustand Bezug genommen. Fig. 7a zeigt ein Diagramm zum Ermitteln eines Soll-Amplitudenzustands an einem vorbestimmten Punkt, der in Fig. 7a mit "Optimal-Punkt" bezeichnet ist, und der im Vorführbereich 802 von Fig. 8 liegt. In Fig. 7a ist lediglich beispielhaft eine virtuelle Quelle 700 als Punktquelle eingezeichnet, die ein Schallfeld mit konzentrischen Wellenfronten erzeugt. Ferner ist aufgrund des Audiosignals für die virtuelle Quelle 700 der Pegel L_v der virtuellen Quelle 700 bekannt. Der Soll-Amplitudenzustand bzw. dann, wenn der Amplitudenzustand ein Pegelzustand ist, der Soll-Pegel an dem Punkt P im Vorführbereich wird ohne weiteres dadurch erhalten, daß der Pegel L_p am Punkt P gleich dem Quotienten aus L_v und einem Abstand r ist, den der Punkt P zu der virtuellen Quelle 700 hat. Der Soll-Amplitudenzustand kann somit ohne weiteres durch Berech-

nung des Pegels L_v der virtuellen Quelle und durch Berechnung des Abstands r vom Optimal-Punkt zur virtuellen Quelle ermittelt werden. Zur Berechnung des Abstands r muß typischerweise eine Koordinatentransformation der virtuellen Koordinaten in die Koordinaten des Vorführraums oder eine Koordinatentransformation der Vorführraumkoordinaten des Punkts P in die virtuellen Koordinaten durchgeführt werden, was für Fachleute auf dem Gebiet der Wellenfeldsynthese bekannt ist.

[0069] Ist die virtuelle Quelle dagegen eine unendlich weit entfernte virtuelle Quelle, die am Punkt P ebene Wellen erzeugt, so wird zur Bestimmung des Soll-Amplitudenzustands der Abstand zwischen dem Punkt P und der Quelle nicht benötigt, da dieser ohnehin gegen unendlich geht. In diesem Fall wird lediglich eine Information über die Art der Quelle benötigt. Der Soll-Pegel am Punkt P ist dann gleich dem Pegel, der dem ebenen Wellenfeld, das durch die unendlich weit entfernte virtuelle Quelle erzeugt wird, zugeordnet ist.

[0070] Fig. 7b zeigt ein Diagramm zur Erläuterung des Ist-Amplitudenzustands. Insbesondere sind in Fig. 7b verschiedene Lautsprecher 808 gezeichnet, die alle mit einem eigenen Lautsprecher-signal gespeist werden, das z. B. von dem Wellenfeldsynthesemodul 810 von Fig. 8 erzeugt worden ist. Ferner wird jeder Lautsprecher als Punktquelle modelliert, die ein konzentrisches Wellenfeld ausgibt. Die Gesetzmäßigkeit des konzentrischen Wellenfelds besteht wieder darin, daß der Pegel gemäß $1/r$ abfällt. Damit kann zur Berechnung des Ist-Amplitudenzustands (ohne Messung) das von dem Lautsprecher 808 unmittelbar an der Lautsprecher-membran erzeugte Signal bzw. der Pegel dieses Signals auf der Basis der Lautsprechercharakteristika und des Komponentensignals im Lautsprecher-signal LS_n , das auf die betrachtete virtuelle Quelle zurückgeht, berechnet werden. Ferner kann aufgrund der Koordinaten des Punkts P und der Ortsinformationen zur Lage des Lautsprechers LS_n der Abstand zwischen P und der Lautsprecher-membran des Lautsprechers LS_n ausgerechnet werden, so daß ein Pegel für den Punkt P aufgrund eines Komponentensignals erhalten werden kann, das auf die betrachtete virtuelle Quelle zurückgeht und von dem Lautsprecher LS_n ausgesendet worden ist.

[0071] Eine entsprechende Prozedur kann für die anderen Lautsprecher des Lautsprecherarrays ebenfalls durchgeführt werden, so daß sich für den Punkt P eine Anzahl von "Teilpegelwerten" ergibt, die einen Signalbeitrag der betrachteten virtuellen Quelle darstellen, der von den einzelnen Lautsprechern zum Hörer am Punkt P gelangt ist. Durch Zusammenfassung dieser Teilpegelwerte wird dann der gesamte Ist-Amplitudenzustand am Punkt P erhalten, der dann, wie es ausgeführt worden ist, mit dem Soll-Amplitudenzustand verglichen werden kann, um einen Korrekturwert, der vorzugsweise multiplikativ ist, der jedoch prinzipiell additiv oder subtraktiv sein könnte, zu erhalten.

[0072] Erfindungsgemäß wird somit auf der Basis bestimmter Quellenformen der gewünschte Pegel für einen

Punkt berechnet, also der Soll-Amplitudenzustand. Es wird bevorzugt, daß der Optimal-Punkt bzw. der Punkt im Vorführbereich, der betrachtet wird, sinnvollerweise in der Mitte des Wellenfeldsynthesesystems liegt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß auch dann bereits eine Verbesserung erreicht wird, wenn der Punkt, der zur Berechnung des Soll-Amplitudenzustands zugrunde gelegt worden ist, nicht unmittelbar mit dem Punkt übereinstimmt, der zur Ermittlung des Ist-Amplitudenzustands verwendet worden ist. Nachdem eine möglichst gute Pegelartefaktreduktion für eine möglichst große Anzahl von Punkten im Vorführbereich angestrebt wird, ist es prinzipiell ausreichend, daß ein Soll-Amplitudenzustand für irgendeinen Punkt im Vorführbereich ermittelt wird, und daß ein Ist-Amplitudenzustand ebenfalls für irgendeinen Punkt im Vorführbereich ermittelt wird, wobei es jedoch bevorzugt wird, daß sich der Punkt, auf den der Ist-Amplitudenzustand bezogen ist, in einer Zone um den Punkt herum befindet, für den der Soll-Amplitudenzustand bestimmt worden ist, wobei diese Zone vorzugsweise kleiner als 2 Meter für normale Kinoanwendungen ist. Für beste Ergebnisse sollten diese Punkte im wesentlichen zusammenfallen.

[0073] Erfindungsgemäß wird somit nach Berechnung der Einzelpegel der Lautsprecher gemäß üblicher Wellenfeldsynthesealgorithmen der praktisch durch Überlagerung entstehende Pegel an diesem Punkt, der der Optimal-Punkt im Vorführbereich genannt wird, berechnet. Die Pegel der einzelnen Lautsprecher und/oder Quellen werden dann erfindungsgemäß mit diesem Faktor korrigiert. Für rechenzeiteffizienten Anwendungen wird es besonders bevorzugt, Korrekturfaktoren einmal für alle Positionen bei einer bestimmten Arrayanordnung zu berechnen und abzuspeichern, um dann im Betrieb auf die Tabelle zuzugreifen, um Rechenzeiteinsparungen zu erreichen.

[0074] Abhängig von den Gegebenheiten kann das erfindungsgemäße Verfahren zum Pegel-Korrigieren, wie es in Fig. 1 dargestellt ist, in Hardware oder in Software implementiert werden. Die Implementierung kann auf einem digitalen Speichermedium, insbesondere einer Diskette oder CD mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen erfolgen, die so mit einem programmierbaren Computersystem zusammenwirken können, daß das Verfahren ausgeführt wird. Allgemein besteht die Erfindung somit auch in einem Computer-Programm-Produkt mit einem auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherten Programmcode zur Durchführung des Verfahrens zum Pegel-Korrigieren, wenn das Computer-Programm-Produkt auf einem Rechner abläuft. In anderen Worten ausgedrückt kann die Erfindung somit als ein Computer-Programm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens realisiert werden, wenn das Computer-Programm auf einem Computer abläuft.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Pegel-Korrigieren in einem Wellenfeldsynthesesystem mit einem Wellenfeldsynthesemodul (810) und einem Array (800) von Lautsprechern (808) zur Schallversorgung eines Vorführbereichs (802), wobei das Wellenfeldsynthesemodul ausgebildet ist, um ein einer virtuellen Schallquelle zugeordnetes Audiosignal sowie der virtuellen Schallquelle zugeordnete QuellenPositionsinformationen zu empfangen und unter Berücksichtigung von Lautsprecher-Positionsinformationen Komponentensignale für die Lautsprecher aufgrund der virtuellen Quelle zu berechnen, mit folgenden Merkmalen:
 - einer Einrichtung (100) zum Ermitteln eines Korrekturwerts (104), der auf einem Soll-Amplitudenzustand in dem Vorführbereich basiert, wobei die virtuelle Quelle oder einer Art der virtuellen Quelle abhängt, und der ferner auf einem Ist-Amplitudenzustand in dem Vorführbereich basiert, der auf den Komponentensignalen für die Lautsprecher aufgrund der virtuellen Quelle basiert; und
 - einer Einrichtung (106) zum Manipulieren des der virtuellen Quelle zugeordneten Audiosignals oder der Komponentensignale unter Verwendung des Korrekturwerts (104), um eine Abweichung zwischen dem Soll-Amplitudenzustand und dem Ist-Amplitudenzustand zu verkleinern.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln des Korrekturwerts (104) ausgebildet ist, um den Soll-Amplitudenzustand für einen vorbestimmten Punkt in dem Vorführbereich zu berechnen (500), und um den Ist-Amplitudenzustand für eine Zone in dem Vorführbereich zu bestimmen (502), die gleich dem vorbestimmten Punkt ist oder sich im Rahmen eines Toleranzbereichs um den vorbestimmten Punkt herum erstreckt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der der vorbestimmte Toleranzbereich eine Kugel mit einem Radius kleiner als 2 Meter um den vorbestimmten Punkt ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die virtuelle Quelle eine Quelle für ebene Wellen ist, und bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln des Korrekturwerts ausgebildet ist, um einen Korrekturwert zu ermitteln, bei dem ein Amplitudenzustand des der virtuellen Quelle zugeordneten Audiosignals gleich dem Soll-Amplitudenzustand ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die virtuelle Quelle eine Punktquelle ist, und bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln des Korrekturfaktors ausgebildet ist, um auf der Basis eines Soll-Amplitudenzustands zu arbeiten, der gleich einem Quotienten aus einem Amplitudenzustand des der virtuellen Quelle zugeordneten Audiosignals und dem Abstand zwischen dem Vorführbereich und der Position der virtuellen Quelle ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln des Korrekturwerts ausgebildet ist, um basierend auf einem Ist-Amplitudenzustand zu arbeiten, für dessen Ermittlung eine Lautsprecher-Übertragungsfunktion des Lautsprechers (808) berücksichtigt ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln des Korrekturfaktors ausgebildet ist, um für jeden Lautsprecher einen Dämpfungswert zu berechnen, der von der Position des Lautsprechers und einem zu betrachtenden Punkt im Vorführbereich abhängt, und bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln ferner ausgebildet ist, um das Komponentensignal eines Lautsprechers mit dem Dämpfungswert für den Lautsprecher zu gewichten, um ein gewichtetes Komponentensignal zu erhalten, und um ferner Komponentensignale oder entsprechend gewichtete Komponentensignale von anderen Lautsprechern zu summieren, um den Ist-Amplitudenzustand an dem betrachteten Punkt zu erhalten, auf dem der Korrekturwert (104) basiert.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Einrichtung (106) zum Manipulieren ausgebildet ist, um den Korrekturwert (104) als Korrekturfaktor zu verwenden, der gleich einem Quotienten aus dem Ist-Amplitudenzustand und dem Soll-Amplitudenzustand ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der die Einrichtung (106) zum Manipulieren ausgebildet ist, um das der virtuellen Quelle zugeordnete Audiosignal vor dem Berechnen der Komponentensignale durch das Wellenfeldsynthesemodul (810) mit dem Korrekturfaktor zu skalieren.
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, bei der die Einrichtung (106) zum Manipulieren ausgebildet ist, um Komponentensignale an einem Ausgang einer Wellenfeldsyntheseeinrichtung mit Korrekturfaktoren (104) zu skalieren.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, bei der jedes Komponentensignal, das auf dieselbe virtuelle Quelle zu-

rückgeht, mit demselben Korrekturfaktor skaliert wird.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Soll-Amplitudenzustand ein Soll-Schallpegel ist, und bei der der Ist-Amplitudenzustand ein Ist-Schallpegel ist. 5
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, bei der der Soll-Schallpegel und der Ist-Schallpegel auf einer Soll-Schallstärke bzw. einer Ist-Schallstärke basieren, wobei die Schallstärke ein Maß für eine Energie ist, die in einer Zeitdauer auf eine Bezugsfläche fällt. 10
14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln des Korrekturwerts ausgebildet ist, um den Soll-Amplitudenzustand durch abtastwertweises Quadrieren von Abtastwerten des Audiosignals, das der virtuellen Quelle zugeordnet ist, und durch Aufsummieren einer Anzahl von quadrierten Abtastwerten zu berechnen, wobei die Anzahl ein Maß für eine Beobachtungszeit ist, und bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln des Korrekturwerts ferner ausgebildet ist, um den Ist-Amplitudenzustand zu berechnen, indem jedes Komponentensignal abtastwertweise quadriert wird und eine Anzahl von quadrierten Abtastwerten aufaddiert wird, die gleich der Anzahl von aufaddierten quadrierten Abtastwerten zur Berechnung des Soll-Amplitudenzustands ist, und wobei ferner Additionsergebnisse aus den Komponentensignalen aufaddiert werden, um ein Maß für den Ist-Amplitudenzustand zu erhalten. 20 25 30 35
15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln des Korrekturwerts (104) eine Nachschlagtabelle (400) aufweist, in der Positions-Korrekturfaktor-Wertepaare gespeichert sind, wobei ein Korrekturfaktor eines Wertepaars von einer Anordnung der Lautsprecher in dem Array von Lautsprechern und einer Position einer virtuellen Quelle abhängt, und wobei der Korrekturfaktor so gewählt ist, daß eine Abweichung zwischen einem Ist-Amplitudenzustand aufgrund der virtuellen Quelle an der zugeordneten Position und einem Soll-Amplitudenzustand bei einer Verwendung des Korrekturfaktors durch die Einrichtung (106) zum Manipulieren zumindest reduziert wird. 40 45 50
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, bei der die Einrichtung (100) zum Ermitteln ferner ausgebildet ist, um einen aktuellen Korrekturfaktor für eine aktuelle Position der virtuellen Quelle aus einem oder mehreren Korrekturfaktoren aus Positions-Korrekturfaktor-Wertepaaren zu interpolieren (402), deren Position bzw. Positionen neben der aktuellen Position liegen. 55

17. Verfahren zum Pegel-Korrigieren in einem Wellenfeldsynthesesystem mit einem Wellenfeldsynthesemodul (810) und einem Array (800) von Lautsprechern (808) zur Schallversorgung eines Vorführbereichs (802), wobei das Wellenfeldsynthesemodul ausgebildet ist, um ein einer virtuellen Schallquelle zugeordnetes Audiosignal sowie der virtuellen Schallquelle zugeordnete QuellenPositionsinformationen zu empfangen und unter Berücksichtigung von Lautsprecher-Positionsinformationen Komponentensignale für die Lautsprecher aufgrund der virtuellen Quelle zu berechnen, mit folgenden Schritten:

Ermitteln (100) eines Korrekturwerts (104), der auf einem Soll-Amplitudenzustand in dem Vorführbereich basiert, wobei der Soll-Amplitudenzustand von einer Position der virtuellen Quelle oder einer Art der virtuellen Quelle abhängt, und der ferner auf einem Ist-Amplitudenzustand in dem Vorführbereich basiert, der auf den Komponentensignalen für die Lautsprecher aufgrund der virtuellen Quelle basiert; und Manipulieren (106) des der virtuellen Quelle zugeordneten Audiosignals oder der Komponentensignale unter Verwendung des Korrekturwerts (104), um eine Abweichung zwischen dem Soll-Amplitudenzustand und dem Ist-Amplitudenzustand zu verkleinern.

18. Computer-Programm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 17, wenn das Programm auf einem Computer abläuft.

Claims

1. A device for level correction in a wave field synthesis system having a wave field synthesis module (810) and an array (800) of loudspeakers (808) for providing sound to a presentation region (802), the wave field synthesis module being formed to receive an audio signal associated to a virtual sound source and source positional information associated to the virtual sound source and to calculate component signals for the loudspeakers due to the virtual source considering loudspeaker positional information, comprising:

means (100) for determining a correction value (104) which is based on a set amplitude state in the presentation region, the set amplitude state depending on a position of the virtual source or a type of the virtual source, and which is also based on an actual amplitude state in the presentation region which is based on the component signals for the loudspeakers due to the virtual source; and

- means (106) for manipulating the audio signal associated to the virtual source or the component signals using the correction value (104) to reduce a deviation between the set amplitude state and the actual amplitude state.
2. The device according to claim 1, wherein the means (100) for determining the correction value (104) is formed to calculate the set amplitude state for a predetermined point in the presentation region (500) and to determine the actual amplitude state for a zone in the presentation region (502), the zone being equal to the predetermined point or extending around the predetermined point within a tolerance range.
 3. The device according to claim 2, wherein the predetermined tolerance range is a sphere having a radius smaller than 2 meters around the predetermined point.
 4. The device according to one of the preceding claims, wherein the virtual source is a source for plane waves, and wherein the means (100) for determining the correction value is formed to determine a correction value where an amplitude state of the audio signal associated to the virtual source equals the set amplitude state.
 5. The device according to one of the preceding claims, wherein the virtual source is a point source, and wherein the means (100) for determining the correction factor is formed to operate on the basis of a set amplitude state equaling a quotient of an amplitude state of the audio signal associated to the virtual source and the distance between the presentation region and the position of the virtual source.
 6. The device according to one of the preceding claims, wherein the means (100) for determining the correction value is formed to operate based on an actual amplitude state for the determination of which a loudspeaker-transmitting function of the loudspeaker (808) is considered.
 7. The device according to one of the preceding claims, wherein the means (100) for determining the correction factor is formed to calculate, for each loudspeaker, an attenuation value depending on the position of the loudspeaker and a point to be considered in the presentation region, and wherein the means (100) for determining is also formed to weight the component signal of a loudspeaker by the attenuation value for the loudspeaker to obtain a weighted component signal, and to additionally sum component signals or corresponding weighted component signals from other loudspeakers to obtain the actual amplitude state at the point considered, based on the correction value (104).
 8. The device according to one of the preceding claims, wherein the means (106) for manipulating is formed to use the correction value (104) as a correction factor equaling a quotient of the actual amplitude state and the set amplitude state.
 9. The device according to claim 8, wherein the means (106) for manipulating is formed to scale by the correction factor the audio signal associated to the virtual source before calculating the component signal by the wave field synthesis module (810).
 10. The device according to claim 8 or 9, wherein the means (106) for manipulating is formed to scale component signals at an output of a wave field synthesis means by correction factors (104).
 11. The device according to claim 10, wherein every component signal going back to the same virtual source is scaled by the same correction factor.
 12. The device according to one of the preceding claims, wherein the set amplitude state is a set sound level, and wherein the actual amplitude state is an actual sound level.
 13. The device according to claim 12, wherein the set sound level and the actual sound level are based on a set sound intensity and an actual sound intensity, respectively, wherein the sound intensity is a measure of energy associated to a reference area within a period of time.
 14. The device according to claim 12 or 13, wherein the means (100) for determining the correction value is formed to calculate the set amplitude state by squaring, sample by sample, samples of the audio signal associated to the virtual source and by summing a number of squared samples, the number being a measure of an observation time, and wherein the means (100) for determining the correction value is also formed to calculate the actual amplitude state by squaring every component signal sample by sample and by adding a number of squared samples equaling the number of summed squared samples for calculating the set amplitude state, and wherein also addition results from the component signals are added to obtain a measure of the actual amplitude state.
 15. The device according to one of the preceding claims, wherein the means (100) for determining the correction value (104) comprises a lookup table (400) where position-correction factor value pairs are stored, wherein a correction factor of a value pair depends on an arrangement of the loudspeakers in

the array of loudspeakers and a position of a virtual source, and wherein the correction factor is selected such that a deviation between an actual amplitude state due to the virtual source at the associated position and a set amplitude state is at least reduced when using the correction factor by the means (106) for manipulating.

16. The device according to claim 15, wherein the means (100) for determining is further formed to interpolate (402) a current correction factor for a current position of the virtual source from one or several correction factors from position-correction factor value pairs, the position or positions of which is/are next to the current position.
17. A method for level correction in a wave field synthesis system having a wave field synthesis module (810) and an array (800) of loudspeakers (808) for providing sound to a presentation region (802), the wave field synthesis module being formed to receive an audio signal associated to a virtual sound source and source positional information associated to the virtual sound source and to calculate component signals for the loudspeakers due to the virtual source considering loudspeaker positional information, comprising the steps of:
 - determining (100) a correction value (104) which is based on a set amplitude state in the presentation region, the set amplitude state depending on a position of the virtual source or a type of the virtual source, and which is also based on an actual amplitude state in the presentation region which is based on the component signals for the loudspeakers due to the virtual source; and
 - manipulating (106) the audio signal associated to the virtual source or the component signals using the correction value (104) to reduce a deviation between the set amplitude state and the actual amplitude state.
18. A computer program having a program code for performing the method according to claim 17 when the program runs on a computer.

Revendications

1. Dispositif de correction de niveau dans un système de synthèse de champ d'ondes avec un module de synthèse de champ d'ondes (910) et une rangée (800) de haut-parleurs (808) pour l'alimentation en sons d'une zone de représentation (802), le module de synthèse de champ d'ondes étant réalisé de manière à recevoir un signal audio associé à une source sonore virtuelle ainsi que des informations de posi-

tion de source associées à la source sonore virtuelle et à calculer, tenant compte des informations de position de haut-parleur, des signaux à composantes pour les haut-parleurs sur base de la source virtuelle, aux caractéristiques suivantes :

- un dispositif (100) destiné à déterminer une valeur de correction (104) qui est basée sur un état d'amplitude de consigne dans la zone de représentation, l'état d'amplitude de consigne étant fonction d'une position de la source virtuelle ou d'un type de la source virtuelle, et qui est basé, par ailleurs, sur un état d'amplitude réel dans la zone de représentation qui est basé sur les signaux à composantes pour les haut-parleurs sur base de la source virtuelle ;
 - un dispositif (106) destiné à manipuler le signal audio ou les signaux à composantes associés à la source virtuelle à l'aide de la valeur de correction (104), afin de réduire un écart entre l'état d'amplitude de consigne et l'état d'amplitude réel.
2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer la valeur de correction (104) est réalisé de manière à calculer l'état d'amplitude de consigne pour un point prédéterminé dans la zone de représentation (500), et pour déterminer l'état d'amplitude réel pour une zone dans la zone de représentation (502) qui est égal au point prédéterminé ou s'étend dans le cadre d'une zone de tolérance autour du point prédéterminé.
 3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel la zone de tolérance prédéterminée est une sphère de rayon inférieur à 2 mètres autour du point prédéterminé.
 4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la source virtuelle est une source d'ondes planes, et dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer la valeur de correction est réalisé de manière à déterminer une valeur de correction, dans lequel un état d'amplitude du signal audio associé à la source virtuelle est égal à l'état d'amplitude de consigne.
 5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la source virtuelle est une source ponctuelle, et dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer le facteur de correction est réalisé de manière à fonctionner sur base d'un état d'amplitude de consigne qui est égal à un quotient d'un état d'amplitude du signal audio associé à la source virtuelle et d'une distance entre la zone de représentation et la position de la source virtuelle.
 6. Dispositif selon l'une des revendications précéden-

- tes,
dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer la valeur de correction est réalisé de manière à fonctionner sur base d'un état d'amplitude réel pour la détermination duquel il est tenu compte d'une fonction de transmission du haut-parleur (808).
7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer le facteur de correction est réalisé de manière à calculer pour chaque haut-parleur une valeur d'atténuation qui est fonction de la position du haut-parleur et d'un point à considérer dans la zone de représentation, et dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer est, par ailleurs, réalisé de manière à pondérer le signal à composantes d'un haut-parleur par la valeur d'atténuation pour le haut-parleur, pour obtenir un signal à composantes pondéré, et à additionner, par ailleurs, les signaux à composantes ou signaux à composantes pondérés en conséquence d'autres haut-parleurs, pour obtenir l'état d'amplitude réel au point considéré sur lequel se base la valeur de correction (104).
8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif (106) destiné à manipuler est réalisé de manière à utiliser la valeur de correction (104) comme facteur de correction qui est égal à un quotient de l'état d'amplitude réel et de l'état d'amplitude de consigne.
9. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel le dispositif (106) destiné à manipuler est réalisé de manière à moduler le signal audio associé à la source virtuelle, avant le calcul des signaux à composantes par le module de synthèse de champ d'ondes (810), par le facteur de correction.
10. Dispositif selon la revendication 8 ou 9, dans lequel le dispositif (106) destiné à manipuler est réalisé de manière à moduler les signaux à composantes à une sortie d'un dispositif de synthèse de champ d'ondes par des facteurs de correction (104).
11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel chaque signal à composantes qui se rapporte à la même source virtuelle est modulé par le même facteur de correction.
12. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel l'état d'amplitude de consigne est un niveau sonore de consigne, et dans lequel l'état d'amplitude réel est un niveau sonore réel.
13. Dispositif selon la revendication 12, dans lequel le niveau sonore de consigne et le niveau sonore réel se basent sur une intensité sonore de consigne ou sur une intensité sonore réelle, l'intensité sonore étant une mesure d'une énergie tombant dans une période sur une surface de référence.
14. Dispositif selon la revendication 12 ou 13, dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer la valeur de correction est réalisé de manière à calculer l'état d'amplitude de consigne en élevant au carré par valeur de balayage de valeurs de balayage du signal audio associé à la source virtuelle, et en additionnant un nombre de valeurs de balayage élevées au carré, le nombre étant une mesure pour un temps d'observation, et
dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer la valeur de correction est, par ailleurs, réalisé de manière à calculer l'état d'amplitude réel en élevant au carré par valeur de balayage chaque signal à composantes et en additionnant un nombre de valeurs de balayage élevées au carré qui est égal au nombre de valeurs de balayage élevées au carré additionnées pour le calcul de l'état d'amplitude de consigne, et les résultats d'addition des signaux à composantes étant, par ailleurs, additionnés, pour obtenir une mesure pour l'état d'amplitude réel.
15. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer la valeur de correction (104) présente un tableau de consultation (400) dans lequel sont mémorisées des paires de valeurs de facteur de correction de position, un facteur de correction d'une paire de valeurs étant fonction d'une disposition des haut-parleurs dans la rangée de haut-parleurs et d'une position d'une source virtuelle, et le facteur de correction étant choisi de sorte que soit au moins réduit un écart entre un état d'amplitude réel sur base de la source virtuelle dans la position associée et un état d'amplitude de consigne en cas d'utilisation du facteur de correction par le dispositif (106) destiné à manipuler.
16. Dispositif selon la revendication 15, dans lequel le dispositif (100) destiné à déterminer est, par ailleurs, réalisé de manière à interpoler un facteur de correction actuel pour une position actuelle de la source virtuelle parmi un ou plusieurs facteurs de correction de paires de valeurs de facteur de correction (402) dont la position ou les positions se situent à côté de la position actuelle.
17. Procédé de correction de niveau dans un système de synthèse de champ d'ondes avec un module de synthèse de champ d'ondes (810) et une rangée (800) de haut-parleurs (808) pour l'alimentation en sons d'une zone de représentation (802), le module de synthèse de champ d'ondes étant réalisé de manière à recevoir un signal audio associé à une source

sonore virtuelle ainsi que des informations de position de source associées à la source sonore virtuelle et à calculer, en tenant compte des informations de position de haut-parleur, des signaux à composantes pour le haut-parleur sur base de la source virtuelle, aux étapes suivantes consistant à :

déterminer (100) une valeur de correction (104) qui est basée sur un état d'amplitude de consigne dans la zone de représentation, l'état d'amplitude de consigne étant fonction d'une position de la source virtuelle ou d'un type de source virtuelle, et qui est basée, par ailleurs, sur un état d'amplitude réel dans la zone de représentation qui est basé sur les signaux à composantes pour le haut-parleur sur base de la source virtuelle ; et
manipuler (106) le signal audio ou les signaux à composantes associés à la source virtuelle à l'aide de la valeur de correction (104), pour réduire un écart entre l'état d'amplitude de consigne et l'état d'amplitude réel.

18. Programme d'ordinateur avec un code de programme pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 17, lorsque le programme est exécuté sur un ordinateur.

30

35

40

45

50

55

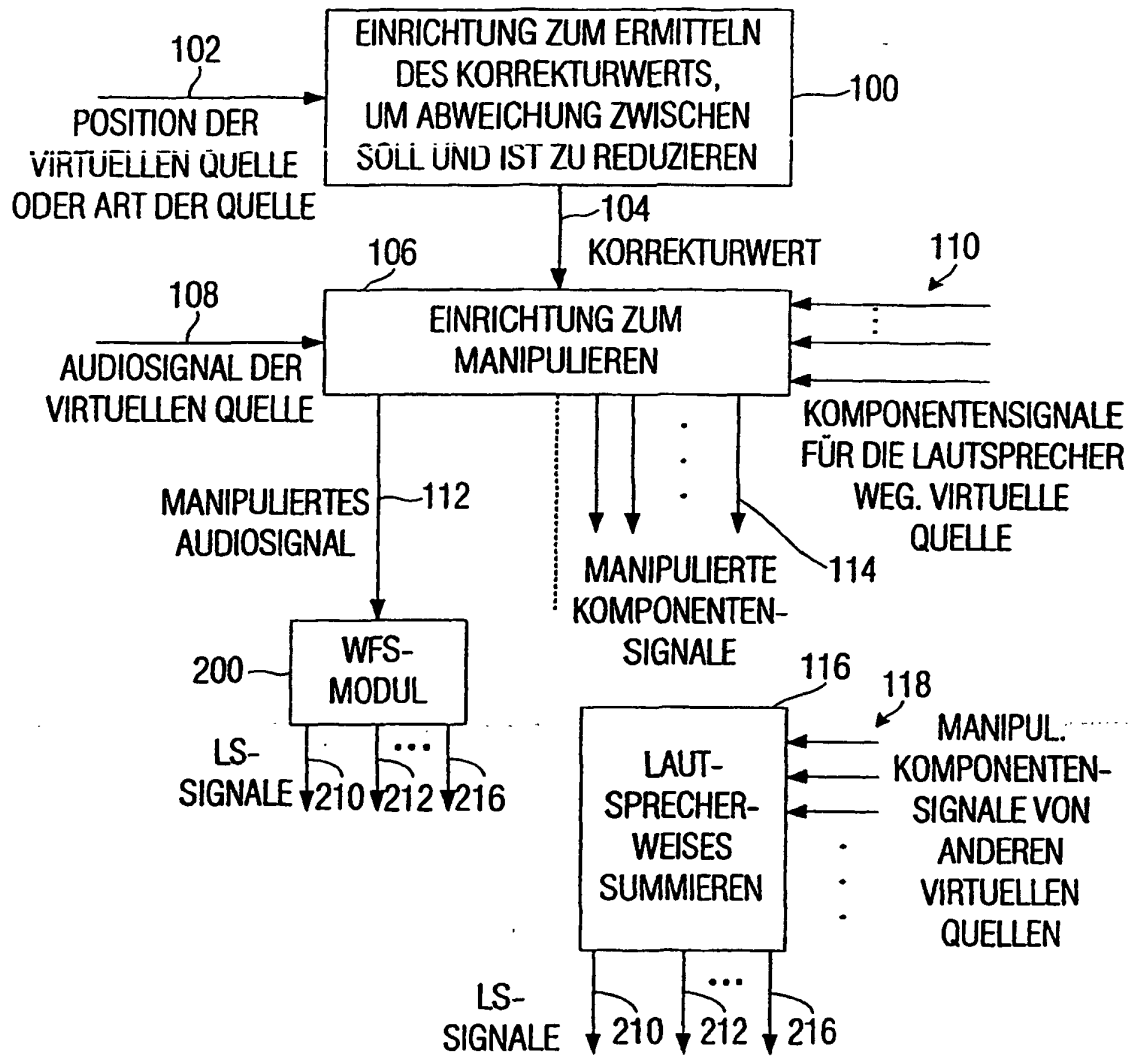


FIG. 1

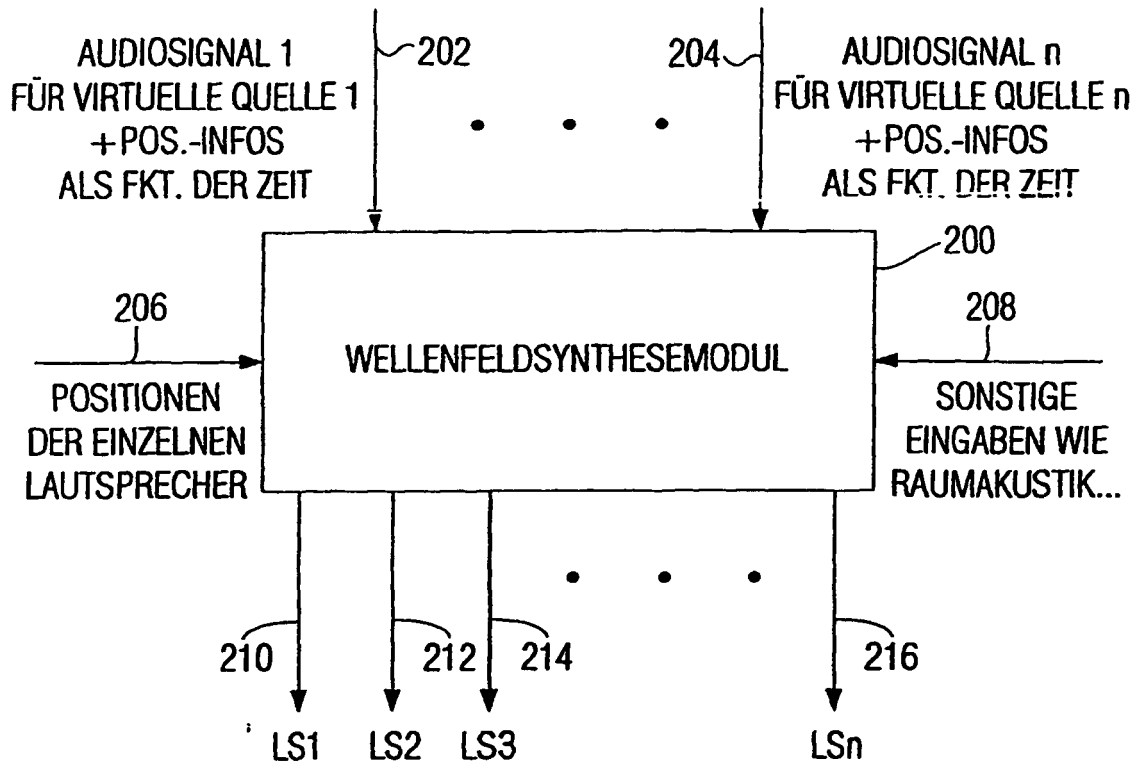


FIG. 2

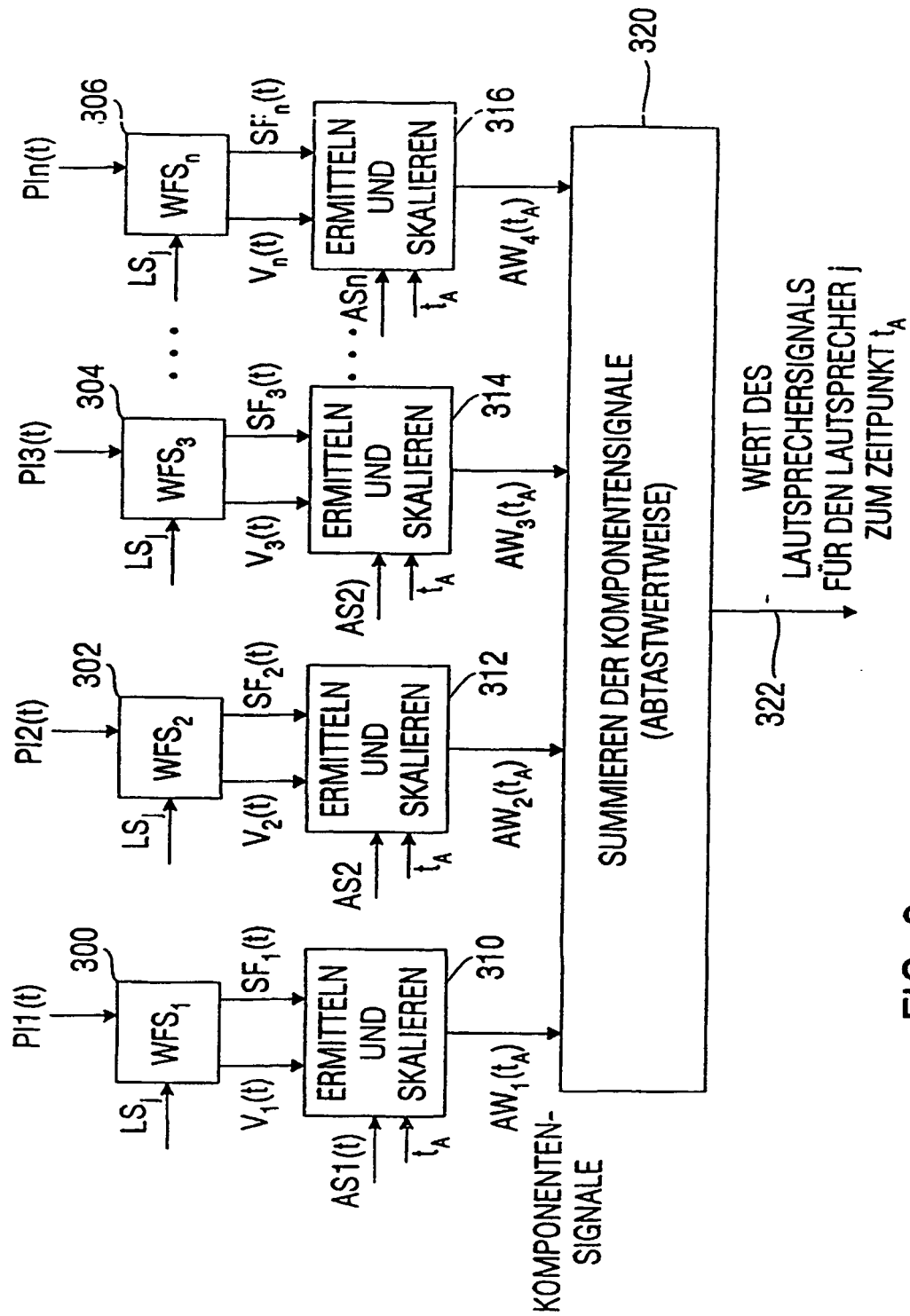


FIG. 3

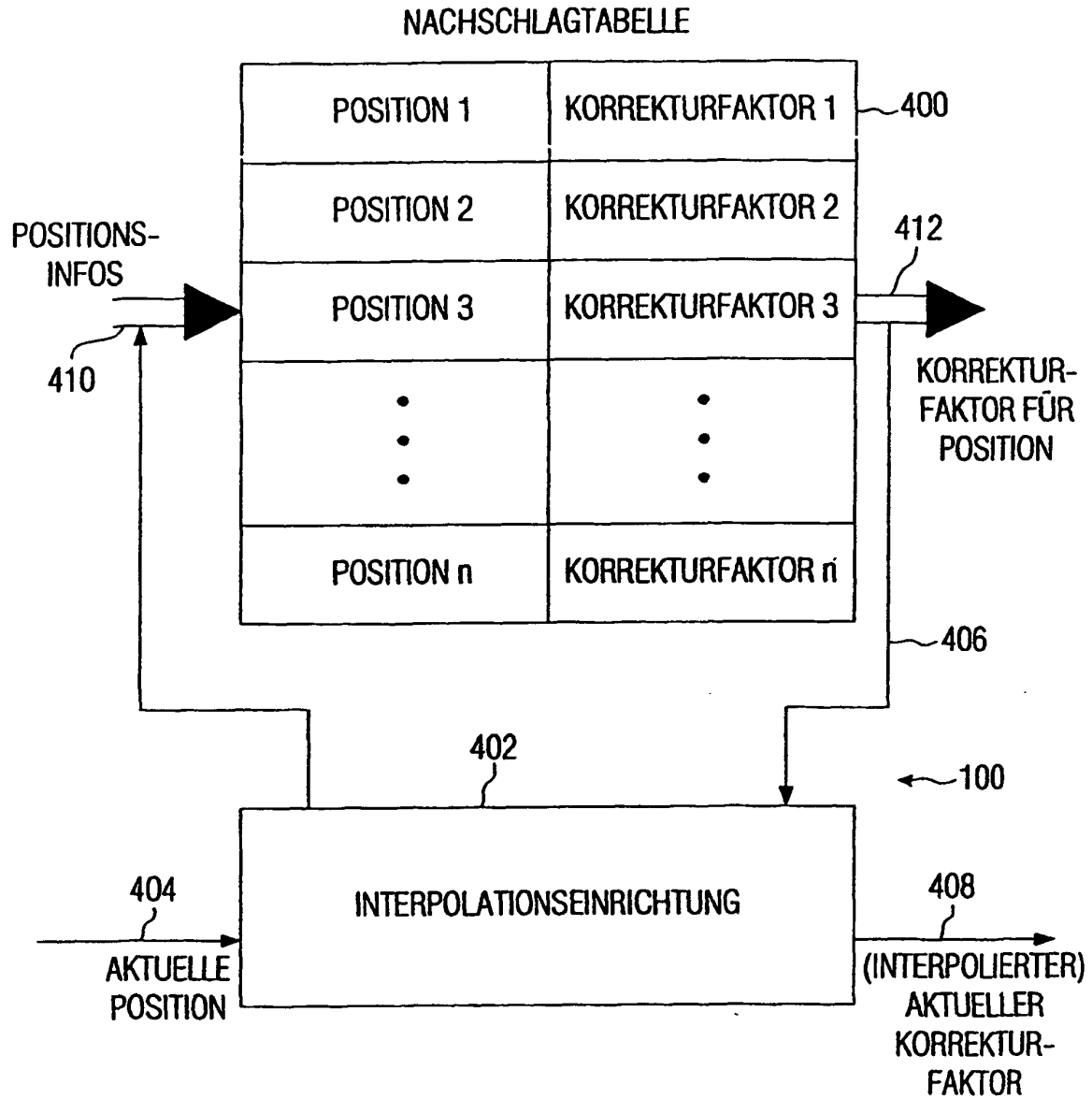


FIG. 4

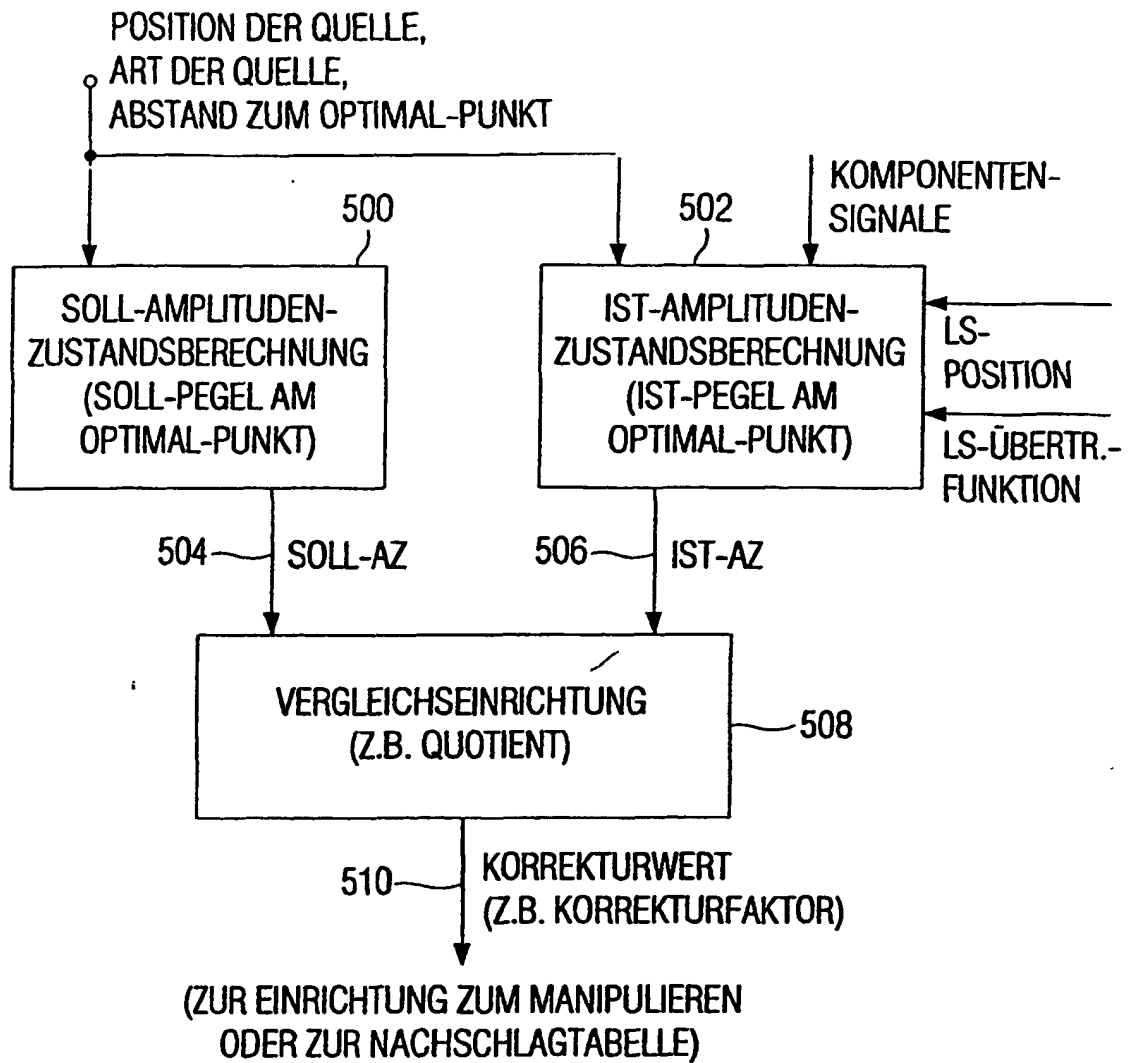


FIG. 5

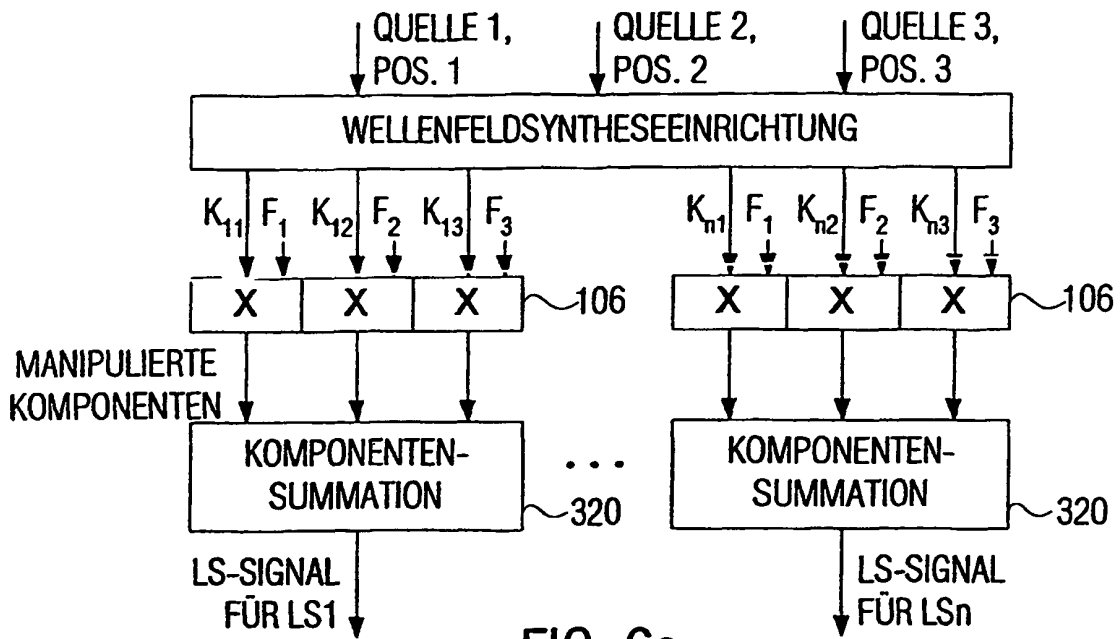


FIG. 6a

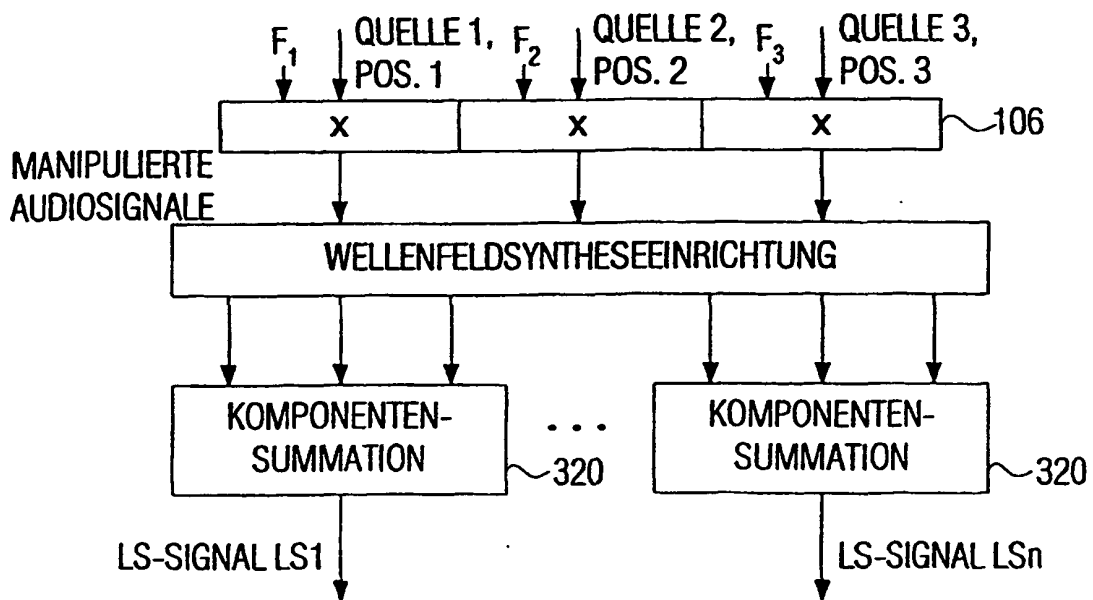


FIG. 6b

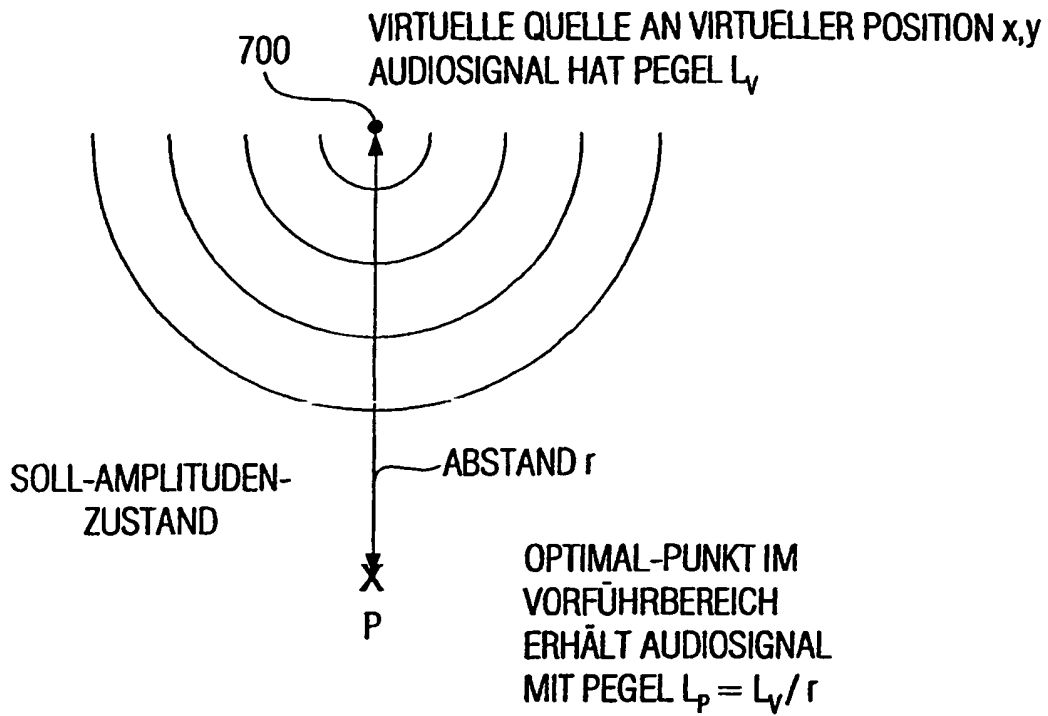


FIG. 7a

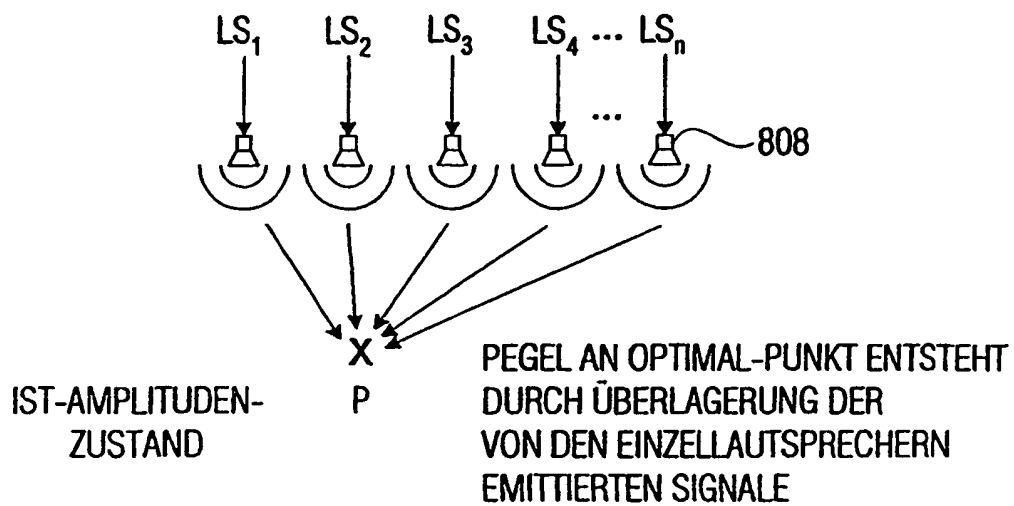


FIG. 7b

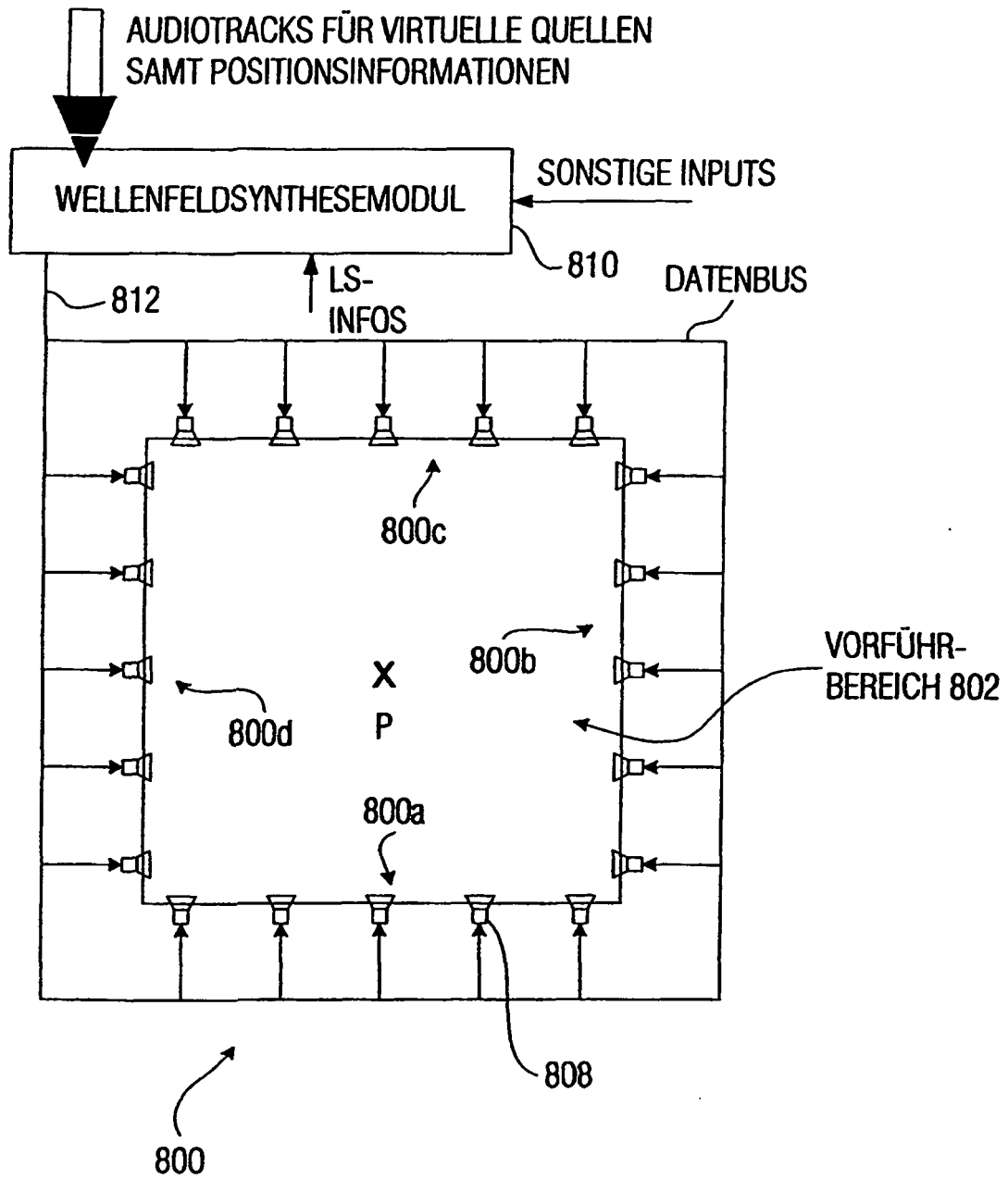


FIG. 8