

(19)



(11)

**EP 4 367 899 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**18.06.2025 Patentblatt 2025/25**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**H04R 1/40 (2006.01) H04R 27/00 (2006.01)**  
**H04S 7/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **22741503.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**H04R 1/403; H04R 27/00; H04S 7/30;**  
**H04S 2420/13**

(22) Anmeldetag: **07.07.2022**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2022/068913**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2023/280982 (12.01.2023 Gazette 2023/02)**

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESCHALLUNG MINDESTENS EINES PUBLIKUMSBEREICHES**

METHOD AND DEVICE FOR THE ACOUSTIC IRRADIATION OF AT LEAST ONE AUDIENCE AREA  
PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE SONORISATION D'AU MOINS UNE ZONE D'AUDIENCE

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

(30) Priorität: **09.07.2021 DE 102021207302**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**15.05.2024 Patentblatt 2024/20**

(73) Patentinhaber: **HOLOPLOT GmbH**  
**12099 Berlin (DE)**

(72) Erfinder: **START, Evert W.**  
**3705CK Zeist (NL)**

(74) Vertreter: **Pfitzner, Hannes**  
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler**  
**Zinkler, Schenk & Partner mbB**  
**Patentanwälte**  
**Radlkoferstraße 2**  
**81373 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**JP-A- 2009 231 980 JP-A- 2013 013 129**  
**US-A1- 2021 204 085**

**EP 4 367 899 B1**

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

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beschallung eines Publikumsbereiches mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Verfahren zur Bestimmung von Verzögerungszeiten  $\tau_i$  zum Betreiben von Schallwandlern mit den Merkmalen des Anspruchs 11, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 20 sowie eine Vorrichtung zur Beschallung mindestens eines Publikumsbereiches mit den Merkmalen des Anspruchs 21.

**[0002]** Nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese (A.J.Berkhout, A Holographic Approach to Acoustic Control, J.Audio Eng.Soc, Vol. 36, No. 12, 1988) erzeugt eine Vielzahl von Schallwandlern eine Wellenfront, die einen gegebenen Publikumsbereich mit sehr gleichmäßigem Pegel in hoher Audioqualität versorgt, ohne angrenzende Reflexionsflächen zu stark unerwünscht anzustrahlen.

**[0003]** Mit der wachsenden Dimension der Publikumsbereiche von Großveranstaltungen steigen die Anforderungen an die Beschallungssysteme. Oft sind die Unterschiede im Schalldruck zwischen den einzelnen Zuschauerplätzen bei einer wenig gerichteten Abstrahlung der Schallwellen nicht tolerierbar, Wiedergabe, Frequenzgang und Sprachverständlichkeit leiden durch Pegelabfall, Luftschalldämmung und unerwünschte Reflexionen.

**[0004]** Aus diesem Grund wird mit Lautsprecheranordnungen aus mehreren Einzelschallquellen der Schall stärker in die weiter entfernten Publikumsbereiche gelenkt. Eine typische Anwendung sind sogenannte Line Arrays, die z.B. links und rechts oberhalb einer Bühnenfront angeordnet sind. Ihre Krümmung wird so auf den Publikumsbereich abgestimmt, dass die abgestrahlte Wellenfront in der Elevationsebene auf die weiter entfernten Publikumsbereiche ausgerichtet ist. Dabei wird nahezu eine Zylinderwelle um diesen Teil der Lautsprecheranordnung erzeugt. Die Oberfläche eines Zylinders wächst linear mit seinem Radius, weshalb der Schalldruck bei jeder Entfernungsverdoppelung um 3 Dezibel abnimmt.

**[0005]** Im unteren Bereich der Schallwandleranordnung bedingt die stärkere Krümmung der Wandlerflächen einen größeren vertikalen Öffnungswinkel. Die Wellenfront ist in diesem Bereich nahezu ein Kugelausschnitt. Die mit dem Radius quadratisch wachsende Oberfläche einer Kugel bedingt hier einen Schalldruckabfall von 6 dB mit jeder Entfernungsverdoppelung. Durch den schnellen Schalldruckabfall im Nahbereich und der weiter reichenden Zylinderwelle für die entfernten Plätze werden die Differenzen im Schalldruck zwischen den vorderen und hinteren Publikumsbereichen deutlich reduziert.

**[0006]** In den letzten Jahren werden auch Schallzeilen mit elektronischer Ansteuerung der einzelnen Schallwandler eingesetzt. Jeder Schallwandler hat dabei seinen eigenen Verstärker, der von einem Signalprozessor angesteuert wird. Mathematische Verfahren gestatten dabei eine deutlich besser an den Publikumsbereich angepasste Abstrahlung, als dies mit der mechanischen Ausrichtung einzelner Schallwandler möglich wäre. Die Krümmung der Schallwandleranordnung kann entsprechend dem Huygensschen Prinzip mit geringen Verzögerungen in der Ansteuerung der einzelnen Wandler simuliert und elektronisch angepasst werden. Jedoch sind diese Möglichkeiten bei den verfügbaren Schallzeilen auf die Elevationsebene begrenzt.

**[0007]** Weil die Richtcharakteristik auch mit dieser verbesserten Abstrahlung nur in der Elevationsebene angepasst werden kann, bleibt das Schallfeld nur grob auf den gegebenen Publikumsbereich zugeschnitten. In der Azimutebene ist die Abstrahlung nur durch die mechanische Ausrichtung der Lautsprechergruppe gegeben. An den Publikumsbereich kann hier allenfalls durch die Auswahl von Lautsprecher-elementen mit breiterer oder schmalerer horizontaler Richtcharakteristik angepasst werden.

**[0008]** Deutlich flexibler sind Lautsprecherfelder, wie sie zur Audiowiedergabe nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese verfügbar sind (wie beispielsweise in der WO2015036845A1). Hier wird jeder Schallwandler an einem separaten Endverstärker betrieben. Entsprechend dem Huygensschen Prinzip setzt sich aus der Superposition der Elementarwellen jedes einzelnen Schallwandlers eine Wellenfront zusammen, die einen Kugelausschnitt der Wellenfront einer realen Schallquelle rekonstruiert. Zentrum dieses Kugelausschnittes ist die virtuelle Schallquelle der Wellenfeldsynthese. Die Grenzen des Kugelausschnittes werden durch die Größe des Schallwandlerfeldes in Verbindung mit der Position der virtuellen Schallquelle bestimmt.

**[0009]** JP 2013013129 A beschreibt ein Lautsprecherarray und erläutert die entsprechende Anordnung gegenüber Boden und den weiteren Oberflächen. Die JP 200923198 A beschreibt ebenfalls ein Lautsprecherarray im Verhältnis zum Beschallen eines Zielbereichs. Die US 2021/204085 A1 beschreibt ein Verfahren zum Erzeugen eines räumlichen Raumbereichs.

**[0010]** Ziel der vorgeschlagenen Lösung ist ein Verfahren zur Beschallung eines Publikumsbereichs durch einer Schallwandleranordnung, welches eine verbesserte Anpassung der Abstrahlcharakteristik an den Publikumsbereich bewirkt.

**[0011]** Die vorgeschlagene Lösung betrifft ein Verfahren zur Beschallung mindestens eines Publikumsbereichs durch eine Schallwandleranordnung mit einer Vielzahl von Schallwandlern. Die einzelnen Schallwandler der mindestens einen Schallwandleranordnung strahlen - im Betrieb - Elementarwellen ab, die sich zu einer gemeinsamen Wellenfront überlagern. Immer wenn im Folgenden von der Abstrahlung von Elementarwellen von den Schallwandlern gesprochen wird, ist das akustische Zentrum der Schallwandler gemeint. Alle Merkmale und insbesondere auch die notwendigen Merkmale sind den unabhängigen Ansprüchen 1, 11 und 21 definiert.

**[0012]** Die mindestens eine Schallwandleranordnung und der Publikumsbereich sind einem gemeinsamen Koordinatensystem, insbesondere einem kartesischen Koordinatensystem, zugeordnet.

**[0013]** Wie im Folgenden deutlich werden wird, dient das Koordinatensystem auf der Seite der mindestens einen Schallwandleranordnung insbesondere dazu, Ausgangspunkte für Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$  zu bestimmen, die zusammen mit Richtungsvektoren  $\mathbf{r}_j$  die Abstrahlung des Schalls von der mindestens einen Schallwandleranordnung bestimmen. Das Koordinatensystem verknüpft somit die mindestens eine Schallwandleranordnung und den mindestens einen Publikumsbereich.

**[0014]** Zwischen den Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$  und den physischen Positionen der Schallwandler besteht eine räumliche Zuordnung. Im einfachsten Fall liegen die akustischen Zentren der Schallwandler am Ursprungsort der Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$ . Es ist aber auch möglich, dass die Schallwandler nicht genau auf den Ursprungsorten der Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$  liegen. Soweit die Positionen der akustischen Zentren der Schallwandler von den Kreuzungspunkten des Hilfsrasters abweichen, kann die damit verbundene Änderung von Verzögerungszeit und Pegel durch räumliche Interpolation oder andere Verfahren korrigiert werden. Die Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$  können z.B. in Form einer Liste gespeichert sein.

**[0015]** Durch die Einführung des Koordinatensystems lassen sich Punkte im Publikumsbereich und Punkte auf der mindestens einen Schallwandleranordnung - und damit mittelbar auch die Schallwandler selbst - einfach geometrisch miteinander in Beziehung setzen, wie z.B. bei der Berechnung eines Abstandes eines Schallwandlers zu einem Punkt im Publikumsbereich.

**[0016]** Dabei geht das Verfahren von einer Zuordnung von Punkten des Koordinatensystems zu Punkten in mindestens einem Publikumsbereich aus und ordnet entsprechend einen Positionsvektor  $\mathbf{r}_j$  zu. Der Positionsvektor  $\mathbf{r}_j$  zeigt somit auf einen bestimmten Ort im Publikumsbereich 3.

**[0017]** Aus den Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$ , aus denen mittelbar oder auch unmittelbar die Positionen der einzelnen Schall-

wandler bestimmbar sind, lassen sich Richtungsvektoren, insbesondere normierte Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}_j = \frac{\mathbf{r}_j - \mathbf{s}_j}{|\mathbf{r}_j - \mathbf{s}_j|}$  bestimmen, die Abstrahlrichtung der Wellenfront im Bereich der jeweiligen Schallwandler bestimmen.

**[0018]** Nun werden in Abhängigkeit von der räumlichen Zuordnung der Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$  und der Schallwandler Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für die Schallwandler bestimmt, mit der dann akustische Elementarwellen abgestrahlt werden. Die Verzögerungszeiten  $\tau_j$  der Schallwandler werden jeweils so gewählt, dass die lokale Richtung der gemeinsamen Wellenfront der Richtung des Richtungsvektors, insbesondere des normierten Richtungsvektors  $\hat{\mathbf{d}}_j$  entspricht.

**[0019]** Die Schallwandler der mindestens einen Schallwandleranordnung werden somit jeweils mit einer bestimmten Verzögerungszeit  $\tau_j$  betrieben. Die Verzögerungszeit  $\tau_j$  eines Schallwandlers bestimmt den Zeitpunkt der Erzeugung einer Elementarwelle am betreffenden Schallwandler. Insbesondere können die Verzögerungszeiten  $\tau_j$  der individuellen Schallwandler gegenüber dem Eingangssignal bestimmt werden. Mit anderen Worten, es wird jedem Schallwandler eine individuelle Verzögerungszeit  $\tau_j$  zugewiesen werden. Die Verzögerungszeiten der einzelnen Schallwandler können sich grundsätzlich unterscheiden, allerdings können einige Schallwandler auch mit derselben Verzögerungszeit  $\tau_j$  betrieben werden.

**[0020]** Die Gesamtheit der Verzögerungszeiten, mit denen die einzelnen Schallwandler der Schallwandleranordnung betrieben werden, beeinflusst die Form der gemeinsamen Wellenfront, welche sich aus den von den einzelnen Schallwandlern erzeugten Elementarwellen zusammensetzt. Insbesondere kann durch die Gesamtheit der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  die Form der gemeinsamen Wellenfront bestimmbar sein.

**[0021]** Insbesondere lassen sich durch bestimmte Wahlen der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  komplex geformte Wellenfronten erzeugen. Im Ergebnis ergibt sich durch unterschiedliche Verzögerungszeiten  $\tau_j$  in der Schallwandleranordnung eine entsprechend geformte Wellenfront, z.B. mit unterschiedlichen Krümmungen. Die von den Elementarwellen gebildete Wellenfront ist so nicht mehr ein Kugelausschnitt, wie er von einer virtuellen Schallquelle mit einer zweidimensionalen Wellenfeldsynthese-Schallwandleranordnung erzeugt wird. Je nach Form und Größe des Versorgungsbereiches (d.h. des mindestens einen Publikumsbereiches) ergeben sich stärkere Krümmungen und flacher gekrümmte Bereiche. In Richtung der weit entfernten Zuschauerplätze ist die konvexe Krümmung der Wellenfront meist geringer, eine stärkere Krümmung in Richtung der vorderen Zuschauerplätze lässt den Schalldruckpegel mit der Entfernung schneller abfallen und verteilt die Energie auf einen größeren Zuschauerbereich.

**[0022]** Die Verzögerungszeiten  $\tau_j$  der einzelnen Schallwandler können derart bestimmt werden, dass sich die gemeinsame Wellenfront an die Geometrie des Publikumsbereichs anpasst. Insbesondere werden durch die Verzögerungszeiten  $\tau_j$  die lokalen Richtungen der Wellenfront gesteuert. Der so entstehenden, unregelmäßig geformten Wellenfront ist der gleichen Größe des Publikumsbereiches prinzipiell die gleiche Anzahl von Rasterpunkten (d.h. des Koordinatensystems im Bereich der Schallwandleranordnung) der Schallwandleranordnung und somit auch von Schallwandlern zugeordnet. Darin unterscheidet sich eine solche Wellenfront grundlegend vom Kugelausschnitt einer punktförmigen virtuellen Schallquelle der Wellenfeldsynthese, bei dem die von der gleichen Zahl Schallwandler versorgte Zuschauerfläche mit der Entfernung stetig ansteigt.

**[0023]** Die lokale Richtung der gemeinsamen Wellenfront an einer Position auf der Wellenfront beschreibt dabei jeweils

die Richtung, in welche sich die gemeinsame Wellenfront an der jeweiligen Position ausbreitet. Die lokale Richtung der gemeinsamen Wellenfront kann jeweils durch den Richtungsvektor beschrieben werden, der auf den jeweiligen Punkt senkrecht auf der gemeinsamen Wellenfront steht. Der Richtungsvektor beschreibt eine lokale Ausbreitungsrichtung der gemeinsamen Wellenfront, wenn die Wellenfront sich senkrecht zu dem Richtungsvektor bewegt.

**[0024]** Eine Anpassung der gemeinsamen Wellenfront an die Geometrie des mindestens einen Publikumsbereichs wird durch eine bestimmbar Zuordnung ermöglicht, die den Positionsvektoren  $\mathbf{s}_i$  (die z.B. einzelnen Schallwandlern zugeordnet sein können) jeweils eine Position im Publikumsbereich entsprechend eines Positionsvektors  $\mathbf{r}_i$  zuordnet.

$$\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|}$$

Aus der jeweiligen Zuordnung ergeben sich normierte Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}_i$ . Die Verzögerungszeiten  $\tau_i$  sind dann jeweils so gewählt, dass die lokale Richtung der gemeinsamen Wellenfront an der Position im Publikumsbereich, welche durch den Positionsvektor  $\mathbf{r}_i$  beschrieben ist, der Richtung des Richtungsvektors  $\hat{\mathbf{d}}_i$  entspricht. Insbesondere sind lokale Ausbreitungsrichtungen der gemeinsamen Wellenfront durch die normierten Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}_i$  gegeben.

**[0025]** Die Schallwandler der mindestens einen Schallwandleranordnung können auf oder in einer Ebene angeordnet sein. Alternativ können die Schallwandler der Schallwandleranordnung auf oder in einer mindestens teilweise gekrümmten Fläche angeordnet sein. Die Anordnung kann z.B. gitterartig sein. Insbesondere können die Abstände der Schallwandler zueinander gleichmäßig sein. Beispielsweise können die Abstände in einer ersten Richtung, insbesondere in vertikaler Richtung, und / oder die Abstände in einer zweiten Richtung, insbesondere in horizontaler Richtung, sich jeweils entsprechen oder eine regelmäßige Abfolge von Abstandsgrößen ergeben. Die geometrische Form in oder an der die Schallwandler angeordnet sind, kann dabei komplex sein. So können die Schallwandler z.B. in einem Bereich in einer ebenen Fläche liegen, wobei andere Schallwandler der gleichen Schallwandleranordnung auf einer gekrümmten Fläche liegen. Dabei können unterschiedliche Teile der Fläche auch unterschiedliche Krümmungsradien aufweisen.

**[0026]** Alternativ sind die Schallwandler der mindestens einen Schallwandleranordnung in einem dreidimensionalen Bereich, insbesondere einem Raum angeordnet. Die Anordnung der einzelnen Schallwandler kann dabei ausgehend von einer Referenzfläche, beispielsweise einer Ebene oder einer gekrümmten Fläche, bestimmbar sein, wobei mindestens eine Teilmenge der Schallwandler der mindestens einen Schallwandleranordnung auf der Referenzfläche angeordnet ist und die Positionen der übrigen Schallwandler der mindestens einen Schallwandleranordnung sich durch einen räumlichen Versatz in den dreidimensionalen Bereich bestimmen lassen.

**[0027]** Der Betrieb des Schallwandlers - der dem Positionsvektor  $\mathbf{s}_i$  zugeordnet ist - mit Verzögerungszeit  $\tau_i$  kann jeweils durch eine Ansteuerung mittels eines Computersystems erfolgen. Insbesondere kann die Ansteuerung mit Verzögerungszeit  $\tau_i$  digital beeinflusst werden, bzw. durch eine digitale Ansteuerung bewirkt sein. Die Verzögerungszeiten können in der Größenordnung von Millisekunden liegen. Für benachbarte Schallwandler liegt die Zeitdifferenz meist nur bei einigen Mikrosekunden, so dass das Gesamtsystem einen sehr stabilen Systemtakt benötigt.

**[0028]** Zusätzlich oder alternativ kann die Verzögerungszeit, mit der ein Schallwandler betrieben wird, mechanisch oder geometrisch beeinflusst werden. Beispielsweise kann die Verzögerungszeit eines Schallwandlers mittels eines räumlichen Versatzes, insbesondere in Abstrahlungsrichtung der Schallwandleranordnung, gegenüber anderen Schallwandlern der Schallwandleranordnung gesteuert werden.

**[0029]** Der Publikumsbereich kann mindestens teilweise eine ebene oder konkave und / oder mindestens teilweise eine konvexe Form aufweisen. Der Publikumsbereich kann als eine zusammenhängende Fläche oder als eine unzusammenhängende Fläche, bestehend aus mindestens zwei zusammenhängenden Teilen, beschrieben sein. Ein Beispiel für einen aus mehreren Bereichen zusammengesetzten Publikumsbereich ist der große Saal der Philharmonie, Berlin oder ein Opernsaal mit mehreren Rängen. Der Publikumsbereich kann aber auch durch eine Menge an Koordinatenpunkten repräsentiert werden.

**[0030]** Im Koordinatensystem können die Positionsvektoren  $\mathbf{s}_i$ , welche den Schallwandlern der Schallwandleranordnung zugeordnet sind, ein regelmäßiges Raster ergeben.

**[0031]** Zusätzlich oder alternativ können die Positionsvektoren  $\mathbf{r}_i$  ein regelmäßiges Raster auf der dem Publikumsbereich zugeordneten Bezugsfläche R ergeben.

**[0032]** Die Zuordnung, welche jedem Positionsvektor  $\mathbf{s}_i$  im Schallwandler Array einen Punkt im Publikumsbereich entsprechend dem Positionsvektor  $\mathbf{r}_i$  beordnet, kann mittels Verbindungslinien von der Schallwandleranordnung in den Publikumsbereich bestimmbar sein. Insbesondere kann die Verbindungslinie als eine Halbgerade ausgehend von dem Positionsvektor  $\mathbf{s}_i$  ausgebildet sein, die den Publikumsbereich bzw. die dem Publikumsbereich zugeordneten Bezugsfläche R schneidet. Dem Schallwandler kann dann ein Positionsvektor  $\mathbf{r}_i$  zugeordnet werden, der sich aus dem Schnittpunkt der Halbgeraden mit dem Publikumsbereich bzw. der dem Publikumsbereich zugeordneten Bezugsfläche R, ergibt.

**[0033]** Zusätzlich oder alternativ können die Pegel, mit denen die Schallwandler der mindestens einen Schallwandleranordnung betrieben werden, mittels eines relativen Verstärkungsfaktors ermittelbar sein, insbesondere basierend auf der Vorschrift  $\hat{d}_n = \hat{\mathbf{d}}_i \cdot \mathbf{n}_i$ , wobei  $\mathbf{n}_i$  jeweils die Normale zur Bezugsfläche S am Positionsvektor  $\mathbf{s}_i$  beschreibt.

**[0034]** Durch das Betreiben der Schallwandler gemäß der relativen Verstärkungsfaktoren  $\hat{d}_n$  ist gewährleistet, dass der Schalldruckpegel an der Empfängerposition  $\mathbf{r}_i$  unabhängig vom Winkel des Richtungsvektors  $\hat{\mathbf{d}}_i$  auf die Normale  $\mathbf{n}_i$  ist.

Dadurch kann eine homogene Lautstärke im zu beschallenden Publikumsbereich gewährleistet werden.

**[0035]** Ferner umfasst die vorgeschlagene Lösung ein Verfahren zur Bestimmung von Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für eine Schallwandleranordnung mit einer Vielzahl von Schallwandlern  $j$  zur Erzeugung von Elementarwellen gemäß der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  zur Beschallung mindestens eines Publikumsbereichs.

**[0036]** Das Verfahren umfasst die Schritte der Bestimmung eines Koordinatensystems, durch welches die mindestens eine Schallwandleranordnung näherungsweise als eine Bezugsfläche  $S$  sowie der Publikumsbereich näherungsweise als eine Bezugsfläche  $R$  beschrieben sind; die Bestimmung von Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  auf der Bezugsfläche  $S$  der mindestens einen Schallwandleranordnung, aus welchen die Positionen der Schallwandler der mindestens einen Schallwandleranordnung ermittelbar sind; die Bestimmung von normierten Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}$  ausgehend von den Positionsvektoren  $\mathbf{s}$ , wobei die normierten Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}$  auf die Bezugsfläche  $R$  des Publikumsbereichs gerichtet sind und die Bestimmung von Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für Schallwandler  $j$ , so dass sich die Elementarwellen der Schallwandler der Schallwandleranordnung bei Betrieb gemäß der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  zu einer gemeinsamen Wellenfront überlagern, wobei die normierten Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}$  lokale Ausbreitungsrichtungen der gemeinsamen Wellenfront beschreiben.

**[0037]** Mit anderen Worten, es breitet sich die gemeinsame Wellenfront im Wesentlichen senkrecht zu den normierten Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}$  aus. Auf diese Weise beschreiben die normierten Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}$  den Ausbreitungsverlauf der gemeinsamen Wellenfront. Insbesondere ist die gemeinsame Wellenfront durch geeignete Wahl der normierten Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}$  an die Geometrie des Publikumsbereichs anpassbar.

**[0038]** Für eine Anpassung der Schallpegel können die relativen Verstärkungsfaktoren  $\hat{d}_n$  für mindestens eine Teilmenge der Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  gemäß der Vorschrift

$$\hat{d}_n = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{n}$$

bestimmt werden, wobei  $\mathbf{n}$  eine Normale zu der Bezugsfläche  $S$  der Schallwandleranordnung an dem durch den Positionsvektor  $\mathbf{s}$  bestimmten Punkt ist und  $\hat{\mathbf{d}}$  der normierte Richtungsvektor ausgehend von dem Positionsvektor  $\mathbf{s}$ .

**[0039]** Die Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  können den Positionen der Schallwandler auf der Schallwandleranordnung ganz oder teilweise entsprechen, in jedem Fall gibt es zwischen den physischen Positionen der einzelnen Schallwandler in der mindestens einen Schallwandleranordnung und den Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  zur Festlegung von Koordinaten im Bereich der mindestens einen Schallwandleranordnung eine räumliche Zuordnung.

**[0040]** Die Anzahl der Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  kann der Anzahl der Schallwandler der Schallwandleranordnung entsprechen oder auch von dieser verschieden sein. Insbesondere kann die Anzahl der Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  höher sein als die Anzahl der Schallwandler auf der Schallwandleranordnung.

**[0041]** Die Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  können Kreuzungspunkte eines auf der Bezugsfläche  $S$  der mindestens einen Schallwandleranordnung beschriebenen Hilfsrasters beschreiben. Es müssen aber nicht auf allen Kreuzungspunkten des Hilfsrasters Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  liegen. Das Hilfsraster kann beispielsweise eine rechteckförmige Ebene beschreiben.

**[0042]** Die Anzahl der Rasterlinien in horizontaler und / oder vertikaler Richtung kann jeweils einer Anzahl von Zeilen und / oder Spalten von Schallwandlern der Schallwandleranordnung entsprechen. Die Anzahl der Rasterlinien in horizontaler und / oder vertikaler Richtung kann aber auch größer sein, als eine Anzahl von Zeilen und / oder Spalten von Schallwandlern in der Schallwandleranordnung.

**[0043]** Das Verfahren kann ferner eine Bestimmung von Positionsvektoren  $\mathbf{r}$  auf der Bezugsfläche  $R$  des Publikumsbereichs umfassen, wobei jeweils einem Positionsvektor  $\mathbf{s}$  ein Positionsvektor  $\mathbf{r}$  zugeordnet ist. Die Zuordnung kann mittels einer Verbindungslinie vom Positionsvektor  $\mathbf{s}$  zu dem Positionsvektor  $\mathbf{r}$  erfolgen, auf Basis welcher der jeweils der normierter Richtungsvektor  $\hat{\mathbf{d}}$  ermittelt werden kann. Insbesondere kann der Richtungsvektor  $\hat{\mathbf{d}}$  jeweils mittels der

$$\hat{\mathbf{d}} = \frac{\mathbf{r} - \mathbf{s}}{|\mathbf{r} - \mathbf{s}|}$$

Berechnungsvorschrift bestimmt sein.

**[0044]** Die Gesamtheit der Verbindungslinien ist in einer Ausführungsform derart beschaffen, dass sie sich jeweils paarweise nicht kreuzen oder überschneiden. Insbesondere schneidet keine Verbindungslinie die jeweils anderen Verbindungslinien.

**[0045]** Die Zuordnung der Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  zu den Positionsvektoren  $\mathbf{r}$  kann automatisch, insbesondere anhand einer 3D-CAD Datei des Publikumsbereichs, erfolgen. Dies kann nach einem geeigneten Mappingverfahren vorgenommen werden. Insbesondere können bei der Zuordnung Punkte und / oder Bereiche der Bezugsfläche des Publikumsbereichs ausgespart werden, beispielsweise solche, die Bereichen des Publikumsbereichs entsprechen, die nicht von der gemeinsamen Wellenfront getroffen werden sollen.

**[0046]** Die Positionsvektoren  $\mathbf{r}$  können dabei gleichmäßig auf der Bezugsfläche  $R$  des Publikumsbereichs verteilt sein. Dadurch können sie gleichmäßig verteilten Punkten im Publikumsbereich entsprechen. Eine gleichmäßige Verteilung der Punkte ist beispielsweise dadurch gewährleistet, dass je zwei benachbarte Punkte den gleichen Abstand voneinander

haben.

**[0047]** Die Bezugsfläche  $R$  des Publikumsbereichs kann durch ein Hilfsraster beschrieben sein. Die Positionsvektoren  $r$  können zu mindestens teilweise Kreuzungspunkten des Hilfsrasters entsprechen.

**[0048]** Gleichermaßen kann die Bezugsfläche  $S$  der Schallwandleranordnung durch ein Hilfsraster beschrieben sein, auf dem die Positionsvektoren  $s$  mindestens teilweise Kreuzungspunkten entsprechen. Ein solches Hilfsraster ist insbesondere für die numerische Behandlung wichtig, da sich in diesem z.B. numerische Integrationen mittels der Trapez-Regel leicht ausführen lassen.

**[0049]** Hilfsraster auf der Bezugsfläche  $S$  der mindestens einen Schallwandleranordnung und Hilfsraster auf der Bezugsfläche  $R$  des Publikumsbereichs können dabei ineinander überführbar sein. Insbesondere können sie die gleiche Anzahl von Linien in horizontaler- und / oder vertikaler Ebene aufweisen. Durch die Verbindung der Kreuzungspunkte der Hilfsraster kann sich eine geeignete Verbindung zwischen der Bezugsebene  $S$  der mindestens einen Schallwandleranordnung zu der Bezugsebene  $R$  des Publikumsbereichs ergeben.

**[0050]** Die Bezugsfläche  $S$  der mindestens einen Schallwandleranordnung kann eine Ebene oder beispielsweise eine zumindest teilweise gekrümmte Fläche sein. Insbesondere kann sich eine Krümmung der Bezugsfläche  $S$  der Schallwandleranordnung in horizontaler Richtung von einer Krümmung in vertikaler Richtung unterscheiden.

**[0051]** In einer Ausführungsform ist die Bezugsfläche  $S$  der Schallwandleranordnung mittels Koordinaten  $s(u, v) = [x(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)]$  parametrisiert, wobei  $u$  und  $v$  reelle, kontinuierliche Variablen sind.

**[0052]** Zur Bestimmung der jeweiligen individuellen Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für Schallwandler  $j$  kann zunächst eine skalarwertige Funktion von Verzögerungszeiten  $\tau(u, v)$  für eine endliche Menge von Positionsvektoren der Form  $s = s(u, v)$  ermittelt werden und anschließend die Bestimmungen der Verzögerungszeit  $\tau_j$  für Schallwandler  $j$  mindestens teilweise durch Interpolationen von mindestens zwei Werten der Form  $\tau(u, v)$  erfolgen.

**[0053]** Die Verzögerungszeiten  $\tau(u, v)$  sind in einer Ausführungsform mittels numerischer Integration des diskreten 2D-Vektorfeldes  $[\Delta_u \tau \ \Delta_v \tau]$  bestimmbar. Dabei sind die Verzögerungsdifferenzen  $\Delta_u \tau$  in  $u$ -Richtung bzw.  $\Delta_v \tau$  in  $v$ -Richtung gegeben durch

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u \quad |$$

beziehungsweise

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v,$$

wobei  $\Delta u$  und  $\Delta v$  jeweils diskrete Schrittweiten in  $u$ -Richtung beziehungsweise  $v$ -Richtung beschreiben,  $c$  die Schallgeschwindigkeit beschreibt und wobei  $\hat{d}_u$  und  $\hat{d}_v$  durch die Skalarprodukte

$$\hat{d}_u = \hat{\mathbf{a}} \cdot \mathbf{s}_u$$

beziehungsweise

$$\hat{d}_v = \hat{\mathbf{a}} \cdot \mathbf{s}_v,$$

gegeben sind,

wobei  $\hat{\mathbf{a}}$  jeweils den normierten Richtungsvektor ausgehend vom Positionsvektor  $\mathbf{s} = s(u, v)$  beschreibt und  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  Tangentenvektoren zu der Bezugsfläche  $S$  ausgehend vom Positionsvektor  $\mathbf{s} = s(u, v)$  beschreiben.

**[0054]** Die Tangentenvektoren  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  sind dabei gegeben durch die partiellen Ableitungen

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \ \frac{\partial y}{\partial u} \ \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

beziehungsweise

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \ \frac{\partial y}{\partial v} \ \frac{\partial z}{\partial v} \right].$$

**[0055]** Mit anderen Worten, es kann in einem Verfahren zur Bestimmung der Verzögerungszeiten  $\tau(u, v)$  zunächst das

zweidimensionale diskrete Vektorfeld  $[\Delta_u \tau \ \Delta_v \tau]$  gemäß der Vorschriften

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u$$

beziehungsweise

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v,$$

auf Basis von Tangentenvektoren  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  der Bezugsfläche  $S$  der Schallwandleranordnung, den normierten Richtungsvektoren  $\hat{\mathbf{d}}$  und der Schallgeschwindigkeit  $c$  bestimmt werden. Anschließend kann das Vektorfeld mittels eines numerischen Integrationsverfahrens integriert werden. Die mittels der Integration erhaltene Funktion  $\tau(u, v)$  beschreibt dann die gewünschten Verzögerungszeiten.

**[0056]** Die Werte der Funktion  $\tau(u, v)$  beschreiben die Verzögerungszeiten an den Positionsvektoren  $\mathbf{s}(u, v)$ . Für jede einzelne Kombination der Parameter  $u$  und  $v$  definiert  $\mathbf{s}(u, v)$  eine eigene Position  $\mathbf{s}_i$ . Anschließend können die Verzögerungen an den Treiberpositionen durch räumliche Interpolation ermittelt werden.

**[0057]** Die berechnete Zeit wird dann mit der von der Samplingfrequenz des Gesamtsystems vorgegebenen Zeit des nahe gelegenen Sampls ausgeführt.

**[0058]** Insbesondere sind die gewünschten Verzögerungszeiten beschrieben durch eine Funktion  $\tau(u, v)$ , deren Gradient das zweidimensionale Vektorfeld  $[\Delta_u \tau \ \Delta_v \tau]$  aufweist, wobei die Komponenten  $\Delta_u \tau$  und  $\Delta_v \tau$  wie oben gegeben sind. Eine Wellenfront kann als eine Art Relief betrachtet werden, das jedem Kreuzungspunkt des Rasters eine Höhe an dieser Stelle zuordnet. Dann ist der Gradient an der Stelle ein Vektor, der in die Richtung des größten Höhenanstiegs zeigt. Der Betrag dieses Vektors gibt die größte Steigung an diesem Punkt an.

**[0059]** Dabei kann die Schallgeschwindigkeit  $c$  durchaus vom Ort abhängig sein, wenn z.B. in einem höheren Bereich des Schallausbreitungsbereiches eine höhere Temperatur herrscht, was die Schallgeschwindigkeit beeinflusst. Dabei kann die Schallgeschwindigkeit durchaus auch abhängig vom Ort sein, was dann in die Berechnung einfließt.

**[0060]** Das numerische Integrationsverfahren kann das Composite Trapezium Verfahren, das Simpson Verfahren, das Romberg Verfahren oder das fortgeschrittenere inverse Gradienten-Verfahren umfassen.

**[0061]** Im Falle, dass die Bezugsfläche  $S$  der Schallwandleranordnung mittels einer Funktion  $\mathbf{s}(u, v) = [x(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)]$ , wie oben beschrieben, parametrisiert ist, ist die Normale  $\mathbf{n}$  zu der Bezugsfläche  $S$  der Schallwandleranordnung, welche bei der Bestimmung zur Schallpegelkorrektur herangezogen werden kann, an dem durch  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschriebenen Punkt gegeben durch das Kreuzprodukt von  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

wobei

$\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  gegeben sind durch die partiellen Ableitungen, wie oben beschrieben.

**[0062]** Ausführungsformen werden im Folgenden anhand von Figuren beispielhaft beschrieben. Dabei beschreibt

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Wellenfront einer virtuellen Schallquelle der Wellenfeldsynthese in einer zweidimensionalen Schallwandleranordnung;

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Wellenfront einer erfindungsgemäß dem Zuschauerbereich angepassten Form der Wellenfront einer zweidimensionalen Schallwandleranordnung;

Fig. 3 die Bestimmung von Normalenvektoren auf einer gekrümmten Bezugsfläche einer Schallwandleranordnung;

Fig. 4 die Zuordnung des Hilfsrasters einer Schallwandleranordnung zu einem Hilfsraster im Publikumsbereich;

Fig. 5 die Bildung eines lokalen Richtungsvektors der Wellenfront, welcher ausgehend von einem Schallwandler aus umgebenden Elementarwellen entsteht und den Publikumsbereich zeigt;

Fig. 6 die Bildung eines normierten Richtungsvektors der Länge eins;

Fig. 7 eine Ausführungsform, bei der der Publikumsbereich in einzelne Teilbereiche mit unterschiedlichem Signalinhalt aufgeteilt wird;

Fig. 8 angepasste Schallwandlerbestückung für einen nicht variablen Publikumsbereich;

Fig. 9 eine Ausführungsform mit einer mechanisch gekrümmten Schallwandlerfläche.

**[0063]** In Fig. 1 ist ein gegebener Publikumsbereich 3 dargestellt, der mit einer ebenen Schallwandleranordnung 1 nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese (WFS) beschallt werden soll.

**[0064]** Die Schallwandler der Schallwandleranordnung 1 erzeugen bei Betrieb Elementarwellen 8, die sich zu einer gemeinsamen Wellenfront 4 überlagern. Die gemeinsame Wellenfront 4 ist so beschaffen, als würde sie von einer virtuellen Schallquelle 12 ausgehen. Dementsprechend entspricht die Oberfläche der aus den Elementarwellen 8 der Schallwandler 9 gebildeten Wellenfront 4 einem Kugelausschnitt. Die gemeinsame Wellenfront 4 ist zur Veranschaulichung in Rechtecke 105 aufgeteilt, die die Anteile von jeweils in etwa gleich vielen Schallwandlern der Schallwandleranordnung 1 erzeugten Elementarwellen 8 an der gemeinsamen Wellenfront 4 repräsentieren.

**[0065]** Im Kugelausschnitt 4 ist der jeweilige Teilbereich 105, der einer gegebenen Zahl von Schallwandlern der Schallwandleranordnung 1 zugeordnet ist, etwa gleich groß. Entsprechend ist der Schalldruck zum gleichen Zeitpunkt auf der Oberfläche der Wellenfront 4 gleichmäßig verteilt.

**[0066]** Die diesen Teilabschnitten zugeordneten Publikumsbereiche 106 haben aber eine sehr unterschiedliche große Fläche, auf denen sich diese jeweils gleiche Energie des zugeordneten Kugelwellenausschnittes verteilt. Entsprechend unterschiedlich sind die Schalldruckpegel in den verschiedenen Teilen des Zuschauerbereiches 3.

**[0067]** Die virtuelle Schallquelle 12 ist in Fig. 1 hinter der Schallwandleranordnung 1 verortet. Die Position der virtuellen Schallquelle 12 bestimmt sowohl die Krümmung der gemeinsamen Wellenfront 4 als auch die Richtung, in der sie sich ausbreitet. Wird die virtuelle Schallquelle 12 nahe der Schallwandleranordnung 1 angeordnet, ist der Versorgungsbereich weit und die Krümmung der gemeinsamen Wellenfront 4 stark. Entsprechend schnell wächst die Oberfläche der gemeinsamen Wellenfront 4 mit der Entfernung, der Schalldruckpegel nimmt deshalb schnell ab.

**[0068]** Je weiter entfernt die virtuelle Schallquelle 12 von der WFS Schallwandleranordnung 1 angeordnet wird, umso enger wird der Abstrahlwinkel und umso geringer die Krümmung des Kugelausschnittes. Bei sehr großer Entfernung ergibt sich nahezu eine parallele Wellenfront, deren Pegel kaum mit der Entfernung abnimmt. Dadurch wird aber der Versorgungsbereich 10 so weit eingeengt, dass nur noch ein Teil des Zuschauerbereiches 5 versorgt wird. Die Position der virtuellen Schallquelle 12 ist deshalb ein Kompromiss zwischen einem breiten Versorgungsbereich und einem vertretbaren Schalldruckabfall in den hinteren Zuschauerreihen des zu beschallenden Publikumsbereichs 3. Wie in der Fig. 1 auch deutlich wird, versorgt die gleiche Anzahl Schallwandler der Schallwandleranordnung 1 einen mit der Entfernung deutlich größer werdenden Anteil des zu beschallenden Publikumsbereichs 3, entsprechend fällt der Schalldruck hier stark ab. Zudem wird deutlich, dass auch Oberflächen außerhalb des zu beschallenden Publikumsbereiches 3 im gesamten Versorgungsbereich 10 ungewollt von der gemeinsamen Wellenfront 4 getroffen werden.

**[0069]** Es ist die Möglichkeit bekannt, die gegebene Publikumsfläche mittels mehrerer virtueller Schallquellen, die den gleichen Signalinhalt haben, zu versorgen. Ein Verfahren dazu ist in der WO 2015/022579 A3 beschrieben. Eine dreidimensionale Weiterentwicklung des Verfahrens ist in der Patentanmeldung DE 10 2019 208 631 A1 beschrieben. Die Kombination mehrerer Wellenfronten, die von verschiedenen virtuellen Schallquellen ausgehen, gestattet einen sehr ausgewogenen Pegelverlauf über weite Publikumsbereiche 3. Dabei können Reflexionsflächen bewusst ausgespart bleiben und der Pegel kann für jede einzelne Wellenfront getrennt eingestellt werden. Auch in schallharter Umgebung kann so ein hoher Direktschall Pegel mit entsprechend guter Sprachverständlichkeit im gesamten Publikumsbereich 3 erzielt werden. Dem Ziel, einen gegebenen Publikumsbereich 3 mit einer zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese vollständig und sehr gleichmäßig zu beschallen, kommen die Verfahren nahe.

**[0070]** Wegen der unterschiedlichen Positionen der virtuellen Schallquellen ergibt sich bei diesen Verfahren jedoch ein Zeitversatz zwischen den einzelnen Beams (z.B. eine Schallabstrahlung in einem bestimmten Raumwinkelbereich). Das führt im Grenzbereich der Beams zu Kammfiltereffekten im Frequenzgang, wenn die Zeitdifferenzen zwischen ihnen nicht ausgeglichen werden. Ein solcher zeitlicher Ausgleich ist möglich, weil die einzelnen virtuellen Schallquellen zeitlich unabhängig voneinander angesteuert werden können. In den Grenzbereichen der einzelnen Beams kann der Versatz allerdings nur für einen Punkt völlig ausgeglichen werden, an anderen Stellen sind wahrnehmbare Kammfiltereffekte im oberen Wiedergabefrequenzbereich unvermeidlich, wenn sich Wellenfronten mit kohärentem Signalinhalt in den Übergangs Bereichen überlagern.

**[0071]** Der Publikumsbereich 3 am Veranstaltungsort ist prinzipiell vorgegeben, seine Form und Größe kann in der Praxis kaum an die akustischen Erfordernisse für eine hochwertige Beschallung angepasst werden. Nur selten ist der zu versorgende Bereich ein ebenes Rechteck. Oft ist der Bereich unsymmetrisch und steigt in den hinteren Bereichen stärker an, um freie Sicht auf die Bühne zu gewährleisten. Auch die Position der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1, die nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese arbeiten kann, ist prinzipiell vorgegeben, weil die Schallquelle im Bühnenbereich lokalisiert werden soll.

**[0072]** Deshalb ist es eine Aufgabe, mit einer im Wesentlichen zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1, wie sie von Wellenfeld-Systemen her bekannt ist, eine geschlossene Wellenfront ohne Übergänge zwischen einzelnen Beams zu



erzeugen, die in ihrer Form in der Azimut- und Elevation-Ebene so gestaltet ist, dass eine gleichmäßige Verteilung des Schalldruckpegels über den gegebenen Publikumsbereich 3 gewährleistet wird. Das kann erreicht werden, wenn der Raumwinkel  $\Omega$  des Anteils einer gegebenen Zahl von Schallwandlern an der zu erzeugenden Wellenfront für einen gegebenen Teil des Publikumsbereiches 3 so angepasst ist, dass er jeweils einen gleich großen Teil des Publikumsbereiches 3 versorgt. Mit diskreten virtuellen Schallquellen der Wellenfeldsynthese ist die Lösung des Problems nicht möglich.

[0073] Ausführungsformen für Verfahren werden im Folgenden anhand der Figuren Fig. 2 bis 9 erläutert.

[0074] Fig. 2 zeigt eine Schallwandleranordnung 1 mit einer Vielzahl von Schallwandlern. Mittels der Schallwandleranordnung 1 wird ein Publikumsbereich 3 beschallt. Die einzelnen Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 strahlen bei Betrieb jeweils Elementarwellen 8 ab, die sich zu einer gemeinsamen Wellenfront 4 überlagern.

[0075] Dabei werden die Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 mit individuellen Verzögerungszeiten  $\tau_j$  betrieben, d.h. die Schallwandler 9 strahlen Elementarwellen 8 zu individuellen Verzögerungszeiten ab. Durch den Betrieb der Schallwandleranordnung 1 mit den individuellen Verzögerungszeiten  $\tau_j$  wird die gemeinsame Wellenfront 4 geformt. Insbesondere kann die gemeinsame Wellenfront 4 durch den Betrieb mit individuellen Verzögerungszeiten  $\tau_j$  so geformt werden, dass sie der Geometrie des Publikumsbereichs 3 angepasst ist.

[0076] Die Schallwandleranordnung 1 und der Publikumsbereich 3 sind einem gemeinsamen Koordinatensystem 2 zugeordnet, in welchem die Positionen der einzelnen Schallwandler der Schallwandleranordnung 1 durch Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$  bestimmt sind. Die exakten Verzögerungszeiten der einzelnen Schallwandler können durch Interpolation aus den berechneten Verzögerungszeiten der umliegenden Kreuzungspunkte des Hilfsrasters bestimmt werden, wenn die Schallwandler nicht genau am Ursprungsort eines Positionsvektors  $\mathbf{s}_i$  angeordnet sind.

[0077] Der diesen Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$  zugeordnete Schallwandler wird mit der individuellen Verzögerungszeit  $\tau_j$  zur Abstrahlung von Elementarwellen 8 angetrieben. Grundsätzlich unterscheiden sich die individuellen Verzögerungszeiten  $\tau_j$  der Schallwandler 9 untereinander, sie können aber auch zumindest teilweise übereinstimmen.

[0078] Die Ermittlung der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  erfolgt mittels einer Zuordnung, die jedem Kreuzungspunkt des Hilfsrasters 5 einen Kreuzungspunkt eines Hilfsrasters 6 im Publikumsbereich 3 zuordnet. Insbesondere ordnet diese Zuordnung dem Schallwandler 9 mit Positionsvektor  $\mathbf{s}_j$  einen Punkt im Publikumsbereich 3 entsprechend einem Positionsvektor  $\mathbf{r}_j$  zu.

[0079] Aus der Zuordnung ergeben sich die Richtungsvektoren 7, welche ausgehend von den Kreuzungspunkten des Hilfsrasters 5 in Richtung der zugeordneten Kreuzungspunkte des Hilfsrasters 6 im Publikumsbereich 3 zeigen. Die normierte Richtungsvektoren im Quader 60, ausgehend von den Positionsvektoren  $\mathbf{s}_i$  sind dabei jeweils durch die

$$\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|} \text{ bestimmt.}$$

Vorschrift

[0080] Die mithilfe der zugeordneten Positionsvektoren  $\mathbf{s}_j$  ermittelten Verzögerungszeiten  $\tau_j$  des Schallwandlers sind dann jeweils so gewählt, dass die lokale Richtung 50 der gemeinsamen Wellenfront 4 am Positionsvektor  $\mathbf{r}_j$  jeweils der Richtung des normierten Richtungsvektors 61  $\hat{\mathbf{d}}_j$  entspricht.

[0081] Gemäß der vorgeschlagenen Lösung bestimmen also die normierten Richtungsvektoren 61 die Form der gemeinsamen Wellenfront 4. Insbesondere sind durch die Richtungsvektoren 7 lokale Richtungen 50 der gemeinsamen Wellenfront 4 bestimmbar. Die normierten Richtungsvektoren 61 stehen jeweils senkrecht auf der gemeinsamen Wellenfront 4.

[0082] Durch eine geeignete Wahl der Zuordnung (siehe Fig. 6) - und damit der normierten Richtungsvektoren 61 - kann die gemeinsame Wellenfront 4 so geformt werden, dass sie sich der Geometrie des Publikumsbereichs 3 anpasst. Dies erfolgt durch die Zuordnung der Rasterpunkte.

[0083] Dabei ist die Wellenfront 4 dann so geformt, dass gleich großen Teilbereichen 106 des Publikumsbereiches 3 etwa die gleiche Anzahl von Schallwandlern der Schallwandleranordnung 1 zugeordnet ist. Die entsprechenden Teilflächen 105 der Wellenfront 4 haben dann zum gleichen Zeitpunkt eine unterschiedliche Größe. Der obere Teilbereich in der Skizze ist in dieser Entfernung noch deutlich kleiner als der untere. Entsprechend ist in diesem Bereich der Schalldruck innerhalb derselben Wellenfront deutlich höher, als in dem für die nahe gelegenen Zuschauerplätze bestimmten, unteren Teilbereich.

[0084] Fig. 3 zeigt eine Bezugsfläche 30 S, welche die Schallwandleranordnung 1 in einem Koordinatensystem 2 modelliert. Auf der Bezugsfläche 30 S der Schallwandleranordnung 1 ist ein regelmäßiges, gekrümmtes Hilfsraster 5 angeordnet, an dem sich die Positionen der einzelnen Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 ausrichten. Mittels der Bezugsfläche 30 S, insbesondere mittels des Hilfsrasters 5, sind Koordinaten für die einzelnen Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 im 3D Raum bestimmbar.

[0085] Die Bezugsfläche 30 S wird durch ein System von gekrümmten Koordinaten parametrisiert mittels der Gleichung  $\mathbf{s}(u, v) = [x(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)]$ , wobei  $u$  und  $v$  reelle Variablen sind.

[0086] Eine Normale 202  $\mathbf{n}$  auf der Bezugsfläche 101 S bei  $\mathbf{s}(u, v)$  ist per Definition eine Normale auf die von den Tangentialvektoren 201  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$ , aufgespannte Tangentialebene, gegeben durch die partiellen Ableitungen von  $\mathbf{s}(u, v)$ ,

wobei

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial s}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial u} \right] \quad (1a)$$

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial s}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial z}{\partial v} \right] \quad (1b)$$

**[0087]** Die Normale  $\mathbf{n}$  an  $\mathbf{s}(u, v)$  ist gegeben durch das Kreuzprodukt von  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  als

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v. \quad (2)$$

**[0088]** Die Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 selbst müssen nicht an den Kreuzungspunkten des Hilfsrasters 5 montiert sein, ihre jeweilige Verzögerung und ihr Pegel werden im dreidimensionalen Raum auf die Kreuzungspunkte interpoliert. Die Krümmung der Bezugsfläche 30 S, sowie des Hilfsrasters 5 kann in der Azimutebene eine andere sein als in der Elevationsebene, es ist auch möglich das Hilfsraster 5 nur in einer Ebene zu krümmen.

**[0089]** In der Praxis wird die Bezugsfläche 30 S der Schallwandleranordnung 1 meist eine ebene Fläche sein und somit das Hilfsraster 5 ein ebenes Hilfsraster. Dies entspricht dem Fall, dass die Schallwandler 9 im Wesentlichen in einer zweidimensionalen Anordnung montiert werden. Eine ebene Fläche wird als Sonderfall einer gekrümmten Fläche betrachtet.

**[0090]** Fig. 4 zeigt die Zuordnung des Hilfsrasters 5 einer Schallwandleranordnung 1 zu einem Hilfsraster 6 im Publikumsbereich 3. Der hier dargestellte Lösungsansatz geht nicht von der Position einer virtuellen Schallquelle (wie in Fig. 1 dargestellt), sondern von der gegebenen Geometrie des zu beschallenden Publikumsbereichs 3 und der Geometrie der Schallwandleranordnung 1 aus.

**[0091]** Grundsätzlich kann der zu beschallende Publikumsbereich 3 beliebig geformt, eben, gekrümmt oder auch ansteigend sein. In Fig. 4 ist ein unregelmäßig geformter zu beschallender Publikumsbereich 3 dargestellt, der insbesondere nicht symmetrisch ist und im hinteren Bereich rechts stärker ansteigt als auf der linken Seite.

**[0092]** Mit konventionellen Ansätzen, aber auch mit virtuellen Schallquellen der Wellenfeldsynthese, ist die Aufgabe, einen Publikumsbereich wie den in Fig. 4 dargestellten, sehr gleichmäßig mit Direktschall zu versorgen, nur unzureichend lösbar, weil die Krümmung der Wellenfronten von virtuellen Schallquellen der Wellenfeldsynthese immer ein Kugelausschnitt ist.

**[0093]** Mithilfe der dargestellten Zuordnung der Hilfsraster 5 und 6 lässt sich hingegen eine gemeinsame Wellenfront 4 erzeugen, die in Ihrer Form an die Geometrie des zu beschallenden Publikumsbereiches 3 angepasst ist.

**[0094]** Zur Lösung des Problems wird ein Koordinatensystem 2 bestimmt.

**[0095]** Dem Koordinatensystem 2 sind über den zu beschallenden Publikumsbereich 3 verteilte Koordinatenpunkte zugeordnet. In Fig. 4 sind diese Koordinatenpunkte im Publikumsbereich 3 an den Kreuzungspunkten eines Hilfsrasters 6 angeordnet, jedoch können Sie auch durch andere Mapping-Verfahren im Publikumsbereich 3 verteilt werden.

**[0096]** Überdies ist dem Koordinatensystem 2 ein Hilfsraster 5 zugeordnet, durch welches die Positionen der Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 bestimmbar sind. Das Hilfsraster ist in Fig. 3 als ebenes, regelmäßiges Hilfsraster dargestellt. Grundsätzlich kann das Hilfsraster aber auch gekrümmt sein, d.h. gekrümmte Linien aufweisen. Grundsätzlich kann das Hilfsraster 5 auf einer Bezugsfläche angeordnet sein, durch welche die Schallwandleranordnung 1 modelliert wird.

**[0097]** Die Anzahl der Koordinatenpunkte im Publikumsbereich 3 entspricht dabei der Anzahl der Kreuzungspunkte des Hilfsrasters 6. So kann jedem Kreuzungspunkt des Hilfsrasters 5 ein Koordinatenpunkt des Hilfsrasters 6 im Publikumsbereich 3 zugeordnet werden. Die Verteilung der Koordinatenpunkte soll dabei über den gesamten Publikumsbereich 3 mit möglichst gleichmässigen Abständen zwischen den einzelnen Koordinatenpunkten erfolgen.

**[0098]** Dabei wird jedem Kreuzungspunkt des Rasters 5 ein Koordinatenpunkt mit der Position  $\mathbf{r}(x, y, z)$  im Publikumsbereich 3 zugeordnet. Die Verbindungslinie 7 zwischen den Kreuzungspunkten des Hilfsrasters 5 und seinem zugeordneten Koordinatenpunkt im Publikumsbereich 3 bildet dann im Koordinatensystem 2 einen Vektor, der Grundlage für die Berechnung von Laufzeit und Pegel des Audiosignals ist.

**[0099]** Das dargestellte ebene Hilfsraster 5 der Schallwandleranordnung 1 hat die Form eines Rechteckes, dessen Seitenverhältnis dem der geplanten Schallwandleranordnung 1, beispielsweise in Form eines Schallwandlerarrays, gleicht. Es sollte mindestens ebenso viele Kreuzungspunkte haben wie Schallwandler 9 in der Schallwandleranordnung 1 vorgesehen sind. Prinzipiell ist das Seitenverhältnis nicht definiert, so dass es auch möglich wäre, eine einzelne Linie aus Schallwandlern aufzubauen, wenn das der gegebenen räumlichen Situation im Publikumsbereich 3 angemessen ist.

**[0100]** Der Abstand der Rasterlinien des Hilfsrasters 5 kann in der horizontalen und vertikalen Ebene unterschiedlich sein, soll aber mindestens der Zahl der Zeilen und Spalten der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 ent-

sprechen.

**[0101]** Die Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 können mit ihrem akustischen Zentrum in den Kreuzungspunkten des Hilfsrasters 5 montiert sein. Ihre Position kann aber auch von diesen Kreuzungspunkten abweichen, wobei ihre jeweiligen Laufzeiten und Pegel durch Interpolation der für die umliegenden Rasterpunkte berechneten Werte bestimmt werden.

**[0102]** Eine höhere Zahl von Rasterlinien verbessert die Genauigkeit der Interpolation. Eine geringere Zahl von Rasterlinien führt dazu, dass keine gleichmäßig gekrümmte, sondern eine aus ebenen Teilflächen zusammengesetzte Wellenfront entsteht. Die damit entstehenden Beugungseffekte führen zu lokalen Unregelmäßigkeiten im Frequenzgang.

**[0103]** Prinzipiell müssen nicht allen Kreuzungspunkten des Hilfsrasters 5 physische Schallwandler 9 zugeordnet sein. Das ermöglicht die Unterbrechung der Bestückung in den Bereichen, in denen Tiefmittelton Schallwandler 9 ihre Schallaustrittsöffnung haben. Zudem können alle Schallwandler 9 leicht unregelmäßig auf der Fläche verteilt werden, wie es in DE 10 2009 006 762 A1 beschrieben wurde. Damit lassen sich unerwünschte Aliasing-Effekte im Publikumsbereich 3 reduzieren, weil sich die daraus entstehenden Kammfiltereffekte im Frequenzgang statistisch etwas ausgleichen.

**[0104]** Das über den Publikumsbereich 3 gelegte Hilfsraster 6 schließt ihn vollständig ein. Das Hilfsraster 6 wird in seiner Form an den Publikumsbereich 3 angepasst. Das kann prinzipiell manuell geschehen. In der Praxis sind aber mehrere Hundert bis mehrere Tausend Rasterpunkte notwendig, damit der Abstand der Schallwandler 9 zueinander ausreichend gering ist, um eine weitgehend von hörbaren Aliasing-Effekten freie Wiedergabe zu erreichen. Die geringe Zahl von Rasterlinien in den Skizzen dient in der Erläuterung des Funktionsprinzips der Übersichtlichkeit.

**[0105]** Deshalb ist es vorteilhaft, die Koordinatenpunkte im Publikumsbereich 3 anhand einer 3D-CAD Datei des Publikumsbereiches 3 mit einem geeigneten Mapping-Verfahren automatisch zu bestimmen. Dabei können auch Bereiche, die nicht direkt von der gemeinsamen Wellenfront 4 getroffen werden sollen, weil von ihnen unerwünschte Reflexionen ausgehen, frei von zugeordneten Rasterpunkten bleiben. So sind ihnen keine Schallwandler 9 zugeordnet, deren Wellenfront direkt in ihre Richtung geschickt wird. Aus diesen Bereichen werden die Koordinatenpunkte verschoben, ohne dabei ihre Anzahl zu verändern. Umliegende Koordinatenpunkte verschieben sich entsprechend, um eine gleichmäßige Verteilung über den Publikumsbereich 3 zu wahren. Jedem Kreuzungspunkt des Hilfsrasters 5 in der Ebene der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 soll ein Bezugspunkt im zu beschallenden Publikumsbereich 3 zugeordnet sein.

**[0106]** Eine Visualisierung in einer 3D-CAD Datei erleichtert die Abschaltung nicht besetzter Publikumsbereiche 3. Dabei bleiben die Berechnungen prinzipiell unverändert, nur die Schallwandler, die nicht besetzten Publikumsbereichen 3 zugeordnet sind, werden nicht mit Signal versorgt. So entsteht am Veranstaltungsort ein geringerer Diffus-Feld-Schallpegel, was zu einer besseren Sprachverständlichkeit in den besetzten Publikumsbereichen 3 beiträgt.

**[0107]** Fig. 5 illustriert beispielhaft, wie die lokale Krümmung 50 der Wellenfront 4, die nach dem beschriebenen Verfahren kein Kugelausschnitt sein muss, aus der Superposition der Elementarwellen 8 der umgebenden Schallwandler 9 entsteht. Die akustischen Zentren der Schallwandler 9 sind im Beispiel zur Vereinfachung auf den Kreuzungspunkten des Hilfsrasters montiert.

**[0108]** Der einzelne, in der Skizze schwarz dargestellte Schallwandler 9 hat entsprechend dem Prinzip der Wellenfeldsynthese eine ungerichtete Halbraumabstrahlung. Die von ihm erzeugte Elementarwelle 8 allein kann dementsprechend keinen Richtungsvektor ausbilden. Der ihm zugeordnete lokale Richtungsvektor  $d$  der Wellenfront entsteht erst in einiger Entfernung von der Schallwandleranordnung 1 durch Superposition der Elementarwellen 8 der umliegenden Schallwandler.

**[0109]** Der Richtungsvektor 7  $d$  ist für diesen Kreuzungspunkt mittels der Vorschrift

$$d = r - s \quad (3)$$

bestimmbar. Er steht immer orthogonal auf der lokalen Wellenfront 50.

**[0110]** In der beispielhaften Darstellung in Fig. 5 liegt der durch den Vektor  $r$  beschriebene Punkt auf einem Kreuzungspunkt des Hilfsrasters 6 des Publikumsbereichs 3.

**[0111]** Grundsätzlich kann der Richtungsvektor 7  $d$  auch ohne Zuhilfenahme des Hilfsrasters 5 und 6 bestimmt werden. In diesem Fall geht der Richtungsvektor 7  $d$  von einem Positionsvektor  $s$  auf einer Bezugsfläche 30  $S$ , welche die Schallwandleranordnung 1 modelliert, aus und zeigt auf einen Positionsvektor  $r$  im Publikumsbereich 3, beziehungsweise auf einen Positionsvektor  $r$ , welcher einen Punkt auf einer den Publikumsbereich 3 modellierenden Bezugsfläche  $R$  30 beschreibt.

**[0112]** Im Folgenden ist ein Verfahren beschrieben, wie aus gegebenen Richtungsvektoren 7 Verzögerungszeiten und Pegel für die einzelnen Schallwandler 9 abgeleitet werden, damit sich die Superposition ihrer Elementarwellen 8 zu einer Wellenfront überlagert, die konsequent auf den gegebenen Publikumsbereich 3 ausgerichtet ist.

**[0113]** In Fig. 6 ist der beispielhaft ausgewählte Richtungsvektor 7  $d$  aus Fig. 4 auf die Länge des normierten Richtungs-

vektors 61  $\hat{\mathbf{d}}$  zurückgeführt, der als

$$\hat{\mathbf{d}} = \frac{\mathbf{d}}{\|\mathbf{d}\|} \quad (4)$$

definiert ist.

**[0114]** Die gewünschte Wellenfront, die durch die Schallwandleranordnung 1, insbesondere in Form eines gekrümmten oder ebenen Arrays, erzeugt wird, kann lokal durch eine ebene Welle angenähert werden, die sich entlang (d.h. lokal in Richtung) des normierten Richtungsvektors 61  $\hat{\mathbf{d}}$  ausbreitet. Jede lokale ebene Welle kann in die gewünschte Richtung gelenkt werden, indem die Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 gemäß den entsprechenden Verzögerungszeiten des Signals betrieben werden.

**[0115]** Die Verzögerungszeit  $\tau_j$  an jeder Position  $\mathbf{s}(u, v)$  auf der Bezugsfläche 30 S der Schallwandleranordnung 1 wird durch die skalarwertige Verzögerungsfunktion  $\tau(u, v)$  beschrieben.

**[0116]** In der Vektorrechnung ist der Gradient einer skalarwertigen Funktion  $\tau$  von mehreren Variablen ein Vektorfeld  $\nabla\tau$ , dessen Komponenten durch partiellen Ableitungen von  $\tau$  bestimmbar sind, insbesondere gilt

$$\nabla\tau(u, v) = \left[ \frac{\partial\tau}{\partial u} \quad \frac{\partial\tau}{\partial v} \right] \quad (5)$$

**[0117]** Dabei kann der Verzögerungsgradient  $\nabla\tau(u, v)$  auf folgende Weise ermittelt werden:

Die Skalarprodukte von den normierten Richtungsvektor 61  $\hat{\mathbf{d}}$  und Tangentenvektoren  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  beziehungsweise  $\hat{d}_u$  und  $\hat{d}_v$  sind gegeben durch

$$\hat{d}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u \quad (6a)$$

$$\hat{d}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v \quad (6a)$$

**[0118]** Die Skalare  $\hat{d}_u$  und  $\hat{d}_v$  können physikalisch als die lokalen Differentiale der Weglängen zwischen der ebenen Welle und der Tangentialebene der Schallwandleranordnung 1 interpretiert werden.

**[0119]** Im Spezialfall einer planaren Schallwandleranordnung 1, wie sie in Fig. 6 dargestellt ist, sind  $\hat{d}_u$  und  $\hat{d}_v$  gleich den in Fig. 6 illustrierten Größen  $\hat{d}_x$  und  $\hat{d}_z$ , welche die x-bzw. z-Komponenten des Vektors  $\hat{\mathbf{d}}$  darstellen.

**[0120]** Die Beziehung zwischen dem Verzögerungsgradienten  $\nabla\tau(u, v)$  aus Gleichung (5) und den Komponenten  $\hat{d}_u$  und  $\hat{d}_v$  ist durch die Schallgeschwindigkeit  $c$  gegeben. Daher können die partiellen Ableitungen der Verzögerungsfunktion  $\tau$  beschrieben werden als

$$\frac{\partial\tau}{\partial u} = \frac{\hat{d}_u}{c} \quad (7a)$$

und

$$\frac{\partial\tau}{\partial v} = \frac{\hat{d}_v}{c}. \quad (7b)$$

**[0121]** In der Praxis ist der Abstand zwischen den Schallwandlern 9 endlich. Daher müssen die Differentialgleichungen aus den Gleichungen (7a) und (7b) in diskrete Differenzengleichungen umgeschrieben werden. Die Verzögerungsdifferenzen  $\Delta_u\tau$  und  $\Delta_v\tau$  in  $u$ - beziehungsweise  $v$ - Richtung sind nun gegeben durch

$$\Delta_u\tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u \quad (8a)$$

und

$$\Delta_v\tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v, \quad (8b)$$

wobei  $\Delta u$  und  $\Delta v$  die diskreten Schrittweiten in  $u$ - bzw. in  $v$ - Richtung sind. Die erforderliche Verzögerung kann durch numerische Integration des diskreten 2D-Vektorfeldes  $[\Delta_u \tau \ \Delta_v \tau]$  gefunden werden.

**[0122]** Es stehen mehrere mathematische Integrationsverfahren zur Verfügung, z. B. das Composite Trapezium, Simpson oder fortgeschrittenere inverse Gradienten-Verfahren. Dabei kann die Integrationskonstante frei gewählt werden. Um die Kausalitätsbedingung zu erfüllen und die System-Latenz zu minimieren, wird die minimale Verzögerung über alle Treiber von den berechneten Verzögerungen subtrahiert.

**[0123]** Der relative Verstärkungsfaktor  $\hat{d}_n$  für jede Position in der Schallwandleranordnung 1 ist gegeben durch das Skalarprodukt von normierten Richtungsvektor 61  $\hat{\mathbf{d}}$  und Normale  $\mathbf{n}$  gemäß der Gleichung

$$\hat{d}_n = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{n}, \quad (9)$$

wobei die Normale  $\mathbf{n}$  wie in Gleichung (2) definiert ist.

**[0124]** Durch das Betreiben der Schallwandler 9 gemäß den relativen Verstärkungsfaktoren  $\hat{d}_n$  ist gewährleistet, dass der Schalldruckpegel an der Empfängerposition  $\mathbf{r}$  unabhängig vom Winkel des Richtungsvektors  $\mathbf{d}$  auf die Normale  $\mathbf{n}$  ist.

**[0125]** Mit steigender Schräge der Abstrahlung gegenüber der Normalen  $\mathbf{n}$  wird die Zahl der Schallwandler 9 in einem gegebenen Raumwinkel  $\Omega$  größer, so dass der Schalldruckpegel hier ansteigen würde.

**[0126]** Die Kompensation nach Gleichung (9) korrigiert dies entsprechend einer Cosinus-Funktion des Winkels  $\gamma$  in Fig. 4. Bei einer gleichmäßigen Verteilung der Koordinatenpunkte  $\mathbf{r}$  ist damit eine sehr homogene Verteilung des Schalldruckes über den gesamten zu beschallenden Publikumsbereich 3 gewährleistet.

**[0127]** In Fig. 7 ist dargestellt, dass der zu beschallende Publikumsbereich 3 auch in einzelne Teilbereiche 701, 702, 703 mit unterschiedlichem Signalinhalt aufgeteilt werden kann.

**[0128]** Prinzipiell könnten diesen Teilbereichen dann auch Teilbereiche der Schallwandleranordnung 1 zugeteilt werden. Eine deutlich zielgenaue Beschallung ergibt sich aber, wenn die hohe Richtwirkung der gesamten Anordnung genutzt wird, um die Signalinhalte auf die gewünschten Publikumsbereiche 3 auszurichten. In jedem der Teilbereiche 701, 702, 703 entspricht die Zahl der Kreuzungspunkte 6 dann der Zahl der Kreuzungspunkte 5 des Hilfsrasters der Schallwandleranordnung 1.

**[0129]** Bei gleichem Signalinhalt ist die Aufteilung in Teilbereiche nicht sinnvoll, wenn die Teilbereiche räumlich nicht ausreichend getrennt sind. Bei kohärentem Signalinhalt würden dann Kammfiltereffekte an den Bereichsgrenzen entstehen.

**[0130]** Einzelne Teilbereiche können auch kleiner sein als die zugeordnete Schallwandler 9 Fläche, soweit die Kreuzungspunkte des Hilfsrasters im Publikumsbereich 3 enger beieinander liegen, als im Hilfsraster der Schallwandleranordnung 1. In dem Fall entstehen konkave Wellenfronten, deren Schalldruckpegel im Publikumsbereich 3 höher ist als an der erzeugenden Strahlerfläche selbst.

**[0131]** Es ist auch möglich, die Größe eines Hilfsrasters im Publikumsbereich 3 auf einen Punkt zu reduzieren. Dann erzeugt die zweidimensionale Schallwandleranordnung 1 nach dem beschriebenen Vektor-basierenden Verfahren die selbe konkave Wellenfront, wie sie in einer zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese bei einer virtuellen Schallquelle an diesem Punkt entsteht.

**[0132]** Mit den Koordinaten der Rasterpunkte 5 auf der Bezugsfläche der Schallwandleranordnung 1 und ihren zugeordneten Koordinaten 6 im Publikumsbereich 3 ist es auch möglich, den Schalldruckabfall bei höheren Frequenzen durch die Luftschalldämmung zu kompensieren. Bei gegebener Luftfeuchtigkeit sind die frequenzabhängigen Dämpfungswerte der Luft pro Meter exakt bekannt. Eine entsprechende inverse Entzerrungskurve kann dann jedem Schallwandler 9 zugeordnet werden, weil die Entfernung zum zugehörigen Zuschauerplatz (gegeben durch die Länge des Richtungsvektors  $\mathbf{d}$  in Fig. 5) bekannt ist.

**[0133]** In großen Publikumsbereichen 3 kann der Schalldruckabfall an der Obergrenze des Audio-Bereichs bei trockener Luft deutlich über zehn dB steigen. Ohnehin muss dieser Frequenzbereich in einer flächigen Schallwandleranordnung 1 deutlich höher angesteuert werden, weil der Pegelgewinn durch die verbesserte Anpassung der synchron arbeitenden Lautsprechergruppe erst bei größeren Wellenlängen greift. Der zusätzliche Ausgleich der Luftschalldämmung für die weit entfernten Publikumsbereiche 3 kann das System deshalb bei hohen Signalpegeln im oberen Audiofrequenzbereich an die Grenze der Aussteuerbarkeit bringen.

**[0134]** Eine Lösung dieses Problems ist es, die Koordinatenpunkte  $\mathbf{r}$  mit der Entfernung zur Schallwandleranordnung 1 dichter zueinander anzuordnen. Den weit entfernten Publikumsbereichen 3 ist dann der gleichen Zahl Schallwandler 9 eine kleinere Teilfläche 106 zugeordnet. Jede Halbierung der Fläche bewirkt einen Pegelanstieg um 3 dB, um den die Ansteuerung der zugeordneten Schallwandler 9 reduziert werden müsste, damit der Schalldruckpegel im gesamten Publikumsbereich 3 nahezu gleichbleibt. Das entsprechend reduzierte Ansteuersignal ist mit einem größeren Headroom in den zugeordneten Verstärkern verbunden. Dieser kann dann genutzt werden, um die Ansteuersignale stärker zu entzerren.

**[0135]** Die Lokalisation der Schallquelle unterscheidet sich im beschriebenen Verfahren grundlegend von der Loka-

lisation einer virtuellen Punktschallquelle der Wellenfeldsynthese. Virtuelle Schallquellen werden bei der Wellenfeldsynthese prinzipiell unabhängig von der Position des Zuhörers im Versorgungsbereich, vergleichbar einer realen Schallquelle, an ihrem virtuellen Ausgangspunkt lokalisiert.

**[0136]** Die auf den Publikumsbereich 3 zugeschnittene Wellenfront geht aber nicht von definierten Positionen virtueller Schallquellen aus. Sie entsteht gleichsam aus einer ausgedehnten Quelle vieler verschiedener Ausgangspunkte in dem Bereich hinter der Schallwandlerfläche. Der Zuschauer auf dem vorderen linken Platz in Fig. 2 wird den Ausgangspunkt der Wellenfront in der linken unteren Ecke der Schallwandleranordnung 1 zuordnen, für den Zuschauer rechts hinten kommt der Schall von der rechten oberen Ecke der Schallwandleranordnung 1. Das ist für die Wiedergabe ohne optischen Bezug zur Schallquelle kein Nachteil, eine räumliche Wiedergabe ist entsprechend der Figur 2 jedoch nur eingeschränkt möglich.

**[0137]** Gleichwohl kann das Verfahren dem Gebiet der Wellenfeldsynthese zugeordnet werden, weil es aus der theoretischen Ableitung der Wellenfeldsynthese aus dem Kirchhoff-Helmholtz Integral möglich ist, jede beliebige Form der Wellenfront zu erzeugen (Jens Ahrens: The Single-layer Potential Approach Applied to Sound Field Synthesis Including Cases of Non-enclosing Distributions of Secondary Sources, Dissertation, Technische Universität Berlin, 2010).

#### Weitere Ausgestaltungen

**[0138]** Bisher wurde davon ausgegangen, dass die Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 in einem regelmäßigen Raster angeordnet sind. In der Praxis kann die Verteilung der Schallwandler 9 aber auch unregelmäßig sein. Dabei werden zuerst die Laufzeiten  $\tau$  zu einem hinreichend dichten regulären Raster berechnet, wonach die Laufzeiten zu den irregulär platzierten Schallwandlern interpoliert werden.

**[0139]** Fig. 8 zeigt einen komplex gestalteten Publikumsbereich 3 mit Teilbereichen 802 und illustriert eine Bestückung der Schallwandleranordnung 1 mit Schallwandlern 9, wobei die Bestückung an die komplexe Gestaltung des Publikumsbereichs 3 angepasst ist.

**[0140]** In der dargestellten Ausführungsform erfolgt die Zuordnung zwischen Punkten auf der Schallwandleranordnung 1 und Punkten im Publikumsbereich 3 mittels einer Zuordnung von Kreuzungspunkten der Hilfsraster 5 der Schallwandleranordnung 1 zu Kreuzungspunkten des Hilfsrasters 6 des Publikumsbereichs 3.

**[0141]** Jedoch sind nicht allen Kreuzungspunkten des Hilfsrasters 5 Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 zugeordnet, mit anderen Worten, es bleiben Kreuzungspunkte des Hilfsrasters 5 unbestückt. Insbesondere finden sich unbestückte Kreuzungspunkte zwischen bestückten Kreuzungspunkten.

**[0142]** Die Form der Schallwandleranordnung 1 kann so bei Festinstallationen an die komplexe Gestaltung und / oder die Geometrie des Publikumsbereiches 3 angepasst werden. Das ermöglicht einen effektiveren Einsatz der Schallwandler.

**[0143]** Das Hilfsraster 6 im Publikumsbereich 3 kann z.B. ein Rechteck sein, es kann insbesondere über die Publikumsfläche hinausgehen.

**[0144]** Unregelmäßige Formen des Hilfsrasters 6 können bei den Berechnungen nach dem beschriebenen Verfahren zu falschen Ergebnissen führen.

**[0145]** Kreuzungspunkten des Hilfsrasters 6 im Publikumsbereich 3, denen kein Publikum zugeordnet ist, d.h. der im vorliegenden Fall außerhalb der zu beschallenden Teilbereiche 5a, 5b, 5c des Publikumsbereichs 3 liegt, werden Hilfsrasterpunkten des Hilfsrasters 5 der Schallwandlerfläche zugeordnet, die nicht mit Schallwandlern bestückt werden oder abgeschaltet sind.

**[0146]** Am Hilfsraster 5 der Schallwandleranordnung 1 richten sich gegebenenfalls auch eingesetzte Tiefmittelton-Schallwandler aus. Die Berechnung ihrer Laufzeiten und Pegel richtet sich nach den nahe gelegenen Rasterpunkten. Die Zeitverschiebung bei eventuellen Tiefenversatz ist auszugleichen. Auch die Phasenlage von Subwoofern kann auf diese Weise effektiv angepasst werden. Verfahrensgemäß wird die kürzeste aller berechneten Laufzeiten zu den einzelnen Schallwandlern von allen berechneten Laufzeiten subtrahiert, so dass die Front der dem Publikumsbereich 3 angepassten Wellenfront immer unmittelbar erzeugt wird.

**[0147]** Eine weitere Ausgestaltung der Lösung betrifft eine Vorrichtung, die entsprechend den Regeln des beschriebenen Verfahrens geformt ist. Mit ihr kann eine einzelne Wellenfront, die in ihrer Form an den gegebenen Zuhörerbereich angepasst ist, ohne elektronische Zeitverschiebung des Signals aus einem Monosignal erzeugt werden. Diese mechanische Lösung kann bei Festinstallationen in akustisch problematischer Umgebung vorteilhaft sein. So kann mit vertretbarem Aufwand ein Beschallungssystem installiert werden, das auch unter ungünstigen akustischen Bedingungen einen hohen Direktschallanteil mit entsprechend guter Sprachverständlichkeit gewährleistet.

**[0148]** In Fig. 9 ist eine mechanisch gekrümmte Schallwandleranordnung 1 beispielhaft illustriert.

**[0149]** Mittels der mechanisch gekrümmten Schallwandleranordnung 90 kann der mit Bezug auf in Fig. 4 beschriebene zu beschallende Publikumsbereich 3 mit einer zugeschnittenen gemeinsamen Wellenfront 4 versorgt werden.

**[0150]** Dabei wird der Betrieb der Schallwandler 9 der Schallwandleranordnung 1 gemäß der nach dem beschriebenen Verfahren gewonnenen Verzögerungszeiten  $\tau_j$  mechanisch realisiert. Alle Schallwandler werden mit kohärentem Signal,

also aus einer Mono Signalquellequelle, versorgt.

**[0151]** Die mechanische Realisierung wird durch geeignete Positionierung der Schallwandler 9 auf der mechanisch gekrümmten Schallwandleranordnung 90 erreicht, insbesondere durch einen geeigneten räumlichen Versatz, insbesondere einen Versatz in Ausbreitungsrichtung der gemeinsamen Wellenfront, der Schallwandler 9 zueinander.

**[0152]** Um die jeweilige Position der Schallwandler 9 in der für den zu beschallenden Publikumsbereich 3 in der angepassten Schallwandlerfläche zu bestimmen, wird eine Wegstrecke  $S_d$ , ausgehend von dem zugehörigen Rasterpunkt eines ebenen Hilfsrasters 5 entlang der verlängerten Diagonale des für den Einheitsvektor 61  $\hat{d}$  bestimmten Quaders 40 abgetragen.

**[0153]** Mithilfe der daher bekannten Wechselwinkel  $\alpha$  und  $\beta$  können in den rechtwinkligen Dreiecken des Quaders 40 die neuen Koordinaten für das akustische Zentrum des betreffenden Schallwandlers 9 und auch seine Ausrichtung bestimmt werden.

**[0154]** Die nach den beschriebenen Methoden berechneten Verzögerungszeiten für die einzelnen Schallwandler 9 entstehen durch den mechanischen Versatz der akustischen Zentren der jeweiligen Schallwandler 9 entlang der Diagonale  $S_d$  der jeweiligen Quader.

**[0155]** Die unterschiedlichen Signalpegel für die einzelnen Schallwandler 9 dieser zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 können dann an einem gemeinsamen Endverstärker durch geeignete Parallel- und Reihenschaltung der Schallwandler 9 näherungsweise realisiert oder durch den Anschluss an verschiedene Verstärker, die jeweils Schallwandler 9 mit annähernd gleichen Pegel Werten zugeordnet werden, realisiert werden.

**[0156]** Soweit die Schallwandler 9 keine signifikanten Einbrüche in ihrer räumlichen Abstrahlcharakteristik haben, müssen sie nicht in Richtung der Diagonalen des Quaders ausgerichtet werden. Dann kann das Verfahren auch durch eine Vorrichtung zur Transversalverschiebung von Schallwandlern, wie sie in WO 2015/004526/A2 beschrieben ist, realisiert werden. Die Verschiebung  $s_y$  des akustischen Zentrums vom Rasterpunkt des ursprünglichen Schallwandler-

Raster ergibt sich dann aus dem Quotienten  $\frac{S_d}{\cos \gamma}$ .

**[0157]** Mit einer einzelnen mechanischen Vorrichtung kann keine räumliche Beschallung des Publikumsbereiches 3 erzeugt werden. Sie ist geeignet, mit überschaubarem Aufwand eine Beschallung zu gewährleisten, bei der die Verteilung des Schalldruckpegels im gesamten Publikumsbereich 3 sehr gleichmäßig ist und die auch in akustisch ungünstigen Räumen eine hohe Sprachverständlichkeit gewährleistet.

**[0158]** Im Folgenden werden noch einige Ausführungsformen für Verfahren und Vorrichtungen zur Beschallung eines gegebenen Publikumsbereiches 3 mittels einer Schallwandleranordnung 1, die in Anlehnung an das Prinzip der Wellenfeldsynthese mit individuellen Verzögerungszeiten und Pegeln ansteuert werden, dargestellt.

**[0159]** So kann z.B. einer Variante 1 in einem Verfahren die Form der akustischen gemeinsamen Wellenfront 4, die durch Superposition von Elementarwellen 8 der Schallwandler 9 zusammengesetzt wird, von der gegebenen Geometrie von Publikumsbereich 3 und Schallwandleranordnung 1 in der Weise bestimmt werden, dass in einem gemeinsamen Koordinatensystem 2 jedem Kreuzungspunkt eines regelmäßigen, zumindest teilweise ebenen und / oder gekrümmten Rasters, dass den Schallwandlern zugeordnet ist, ein Koordinatenpunkt im Publikumsbereich 3 zugeordnet wird, wobei sich aus deren Verbindungslinie ein Vektor ergibt, aus dem durch mathematische Verknüpfung die Verzögerungszeit für den jeweils zugeordneten Schallwandler 9 berechnet werden kann, wodurch die lokale Krümmung der Wellenfront, die durch Superposition der Elementarwellen 8 der umliegenden Schallwandler 9 entsteht, in Richtung dieses Vektors fortschreitet, so dass eine geschlossene Wellenfront entsteht, die den gesamten Publikumsbereich 3 erreichen kann und in der zudem eine Pegelkorrektur für jeden Schallwandler 9 aus seinem zugeordneten Vektor möglich wird, welche die Homogenität des Schalldruckes über den gesamten Publikumsbereich 3 verbessert.

**[0160]** In einer Ausgestaltung der Variante 1 sind z.B. die Koordinatenpunkte in der Ebene der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 Kreuzungspunkte eines ebenen oder gekrümmten Rasters, dem in einem gemeinsamen Koordinatensystem 2 Koordinatenpunkte im Publikumsbereich 3 zugeordnet sind, wobei sich die Verbindungslinien zwischen den jeweils zugeordneten Rasterpunkten und Punkten im Publikumsbereich 3 nicht kreuzen oder schneiden.

**[0161]** In einer weiteren Ausgestaltung entspricht die Anzahl der Rasterlinien in der Ebene der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 verbauten Schallwandler. Alternativ kann die Anzahl der Rasterlinien größer sein als die Anzahl der Schallwandler 9 in den Zeilen und Spalten der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1, wobei das akustische Zentrum der einzelnen Schallwandler 9 im Kreuzungspunkt der Rasterlinien angeordnet werden kann. Die Werte für Verzögerungszeit und / oder Pegel können beispielsweise durch Interpolation der Werte der umgebenden Rasterpunkte ermittelt werden. dass die Bezugspunkte im Publikumsbereich 3 in allen drei Raumdimensionen an die Erfordernisse der Geometrie des Publikumsbereiches 3 angepasst werden können, wobei darauf zu achten ist, dass die Flächen zwischen den einzelnen Rasterpunkten über den gesamten Publikumsbereich 3 etwa gleich groß bleiben, wodurch sich eine relativ gleichmäßige Verteilung des Schalldruckpegels über den gesamten Publikumsbereich 3 ergibt.

[0162] In einer weiteren Ausgestaltung der Variante 1 oder einer der obigen Varianten werden die Vektoren, die sich aus der Differenz der Koordinaten des dem jeweiligen Schallwandler 9 zugeordneten Rasterpunktes in der Ebene der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 zu der jeweiligen Position des zugeordneten Koordinaten Punktes im Publikumsbereich 3 ergeben, auf Komponenten des Einheitsvektors  $\hat{d}$  zurückgeführt, um eine mathematische Grundlage für die Bestimmung der Zeitdifferenzen zwischen benachbarten Schallwandlern zu schaffen.

[0163] Grundsätzlich müssen nicht allen Kreuzungspunkten des Hilfsrasters physische Schallwandler 9 zugeordnet sein, die den gleichen Frequenzbereich abstrahlen. Dadurch wird es beispielsweise möglich, die Bestückung in den Bereichen, in denen Tiefmittelton Schallwandler 9 ihre Schallaustrittsöffnung haben zu unterbrechen oder Hochtonlautsprecher vor den Tief-Mittelton-Schallwandlern zu platzieren, wobei die Laufzeitunterschiede durch den mechanischen Versatz durch Interpolation an den Kreuzungspunkten des Hilfsrasters kompensiert werden.

[0164] In einer weiteren Ausgestaltung der oben beschriebenen Varianten wird der Einfluss des Winkels, den die synthetisierte Wellenfront an einem gegebenen Rasterpunkt zu der Ebene der Schallwandleranordnung 1 einnimmt, auf den am zugeordneten Punkt im Publikumsbereich 3 wahrgenommenen Signalpegel hat, dadurch kompensiert, dass der Pegel des dem jeweiligen Punkt zugeordneten Schallwandlers mit der Cosinus-Funktion des betreffenden Winkels

kompensiert wird, wobei der Wert dieser Cosinus-Funktion dem Wert der Komponente  $\hat{d}_n$  des Einheitsvektors  $\hat{d}$  entspricht.

[0165] Den Kreuzungspunkten des ebenen oder gekrümmten Rasters in der Ebene der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 können grundsätzlich auch mehrere Hilfsraster in der Publikums Fläche, jeweils mit der gleichen Anzahl von Punkten wie das Raster in der Ebene der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1, zugeordnet werden, wodurch Teilbereiche innerhalb der Publikumsfläche beispielsweise simultan mit unterschiedlichem Signalinhalt versorgt werden können.

[0166] Die Bezugspunkte im Publikumsbereich 3 können mit zunehmender Entfernung von der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 enger verteilt werden, beispielsweise in der Absicht, die Flächen zwischen den Bezugspunkten mit der Entfernung von der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 kleiner werden zu lassen, damit die zugeordneten Schallwandler 9 der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 bei unverändertem Schalldruck in dem jeweiligen Bereich mit weniger Pegel angesteuert werden können, wodurch mehr Headroom für die Kompensation des Höhenabfalles durch die Luftschalldämmung in diesen Bereichen zur Verfügung steht.

[0167] Der Einfluss der Luftschalldämmung auf das Signal am Zuschauerplatz für die einzelnen Schallwandler 9 kann dadurch kompensiert werden, dass ihr jeweiliges Eingangssignal mit der inversen Entzerrung des Einflusses der Luftschalldämmung bei gegebener Luftfeuchtigkeit entsprechend der Distanz  $\|d\|$  des zugeordneten Vektors kompensiert werden kann.

[0168] Grundsätzlich können einzelne Publikumsbereiche 3, beispielsweise temporär, von der Versorgung ausgenommen werden. Zum Beispiel, wenn sie bei einer Veranstaltung nicht besetzt werden, wodurch sich der Direktschall-Anteil im übrigen Publikumsbereich 3 verbessert.

[0169] In einer Vorrichtung zur Beschallung eines gegebenen Publikumsbereiches 3 sind die Laufzeiten, mit der die einzelnen Schallwandler 9 der zweidimensionalen Schallwandleranordnung 1 gemäß einer der oben beschriebenen Verfahrensvarianten abstrahlen, nicht durch elektronische Verzögerung des Signalinhaltes, sondern durch die mechanische Positionierung der Schallwandler, die mit kohärenten Signalen angesteuert werden, realisiert, wobei die Signalpegel für den jeweiligen Schallwandler 9 den für die ursprünglichen Kreuzungspunkte des Rasters bestimmten Werten entsprechen.

## Bezugszeichen

[0170]

- 1 Schallwandleranordnung
- 2 Gemeinsames Koordinatensystem
- 3 Publikumsbereich
- 4 Aus Elementarwellen gebildete Wellenfront
- 5 Hilfsraster auf der Bezugsfläche der Schallwandleranordnung
- 6 Hilfsraster im Publikumsbereich
- 7 Richtungsvektor
- 8 Elementarwellen
- 9 Schallwandler
- 10 Versorgungsbereich der Wellenfront
- 105 Teilbereiche der Wellenfront



106	Teilbereiche des Publikumsbereiches
12	virtuelle Schallquelle
30	Gekrümmte Schallwandlerfläche
5 31	Normale
40	Quader zur Vektorbestimmung
50	lokale Richtung der gemeinsamen Wellenfront
60	normierter Quader mit der Diagonale eins
61	normierter Richtungsvektor
10 701, 702, 703	Teilbereiche des Publikumsbereichs
801	Verwendte Kreuzungspunkte
802	Feste Publikumsbereiche
90	Mechanisch gekrümmte Schallwandleranordnung
91	Räumlicher Versatz

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Beschallung mindestens eines Publikumsbereichs (3) durch eine mindestens eine Schallwandleranordnung (1) mit einer Vielzahl von Schallwandlern (9), wobei die einzelnen Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) jeweils Elementarwellen (8) abstrahlen, die sich zu einer gemeinsamen Wellenfront (4) überlagern, wobei

- a) die mindestens eine Schallwandleranordnung (1) und der mindestens eine Publikumsbereich (3) durch ein Koordinatensystem (2) miteinander geometrisch verknüpft sind und
- b) zwischen den physischen Positionen der einzelnen Schallwandler (9) in der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) und Positionsvektoren  $\mathbf{s}_i$  zur Festlegung von Koordinaten im Bereich der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) eine räumliche Zuordnung besteht, und ferner
- c) eine Zuordnung von Punkten des Koordinatensystems (2) zu Punkten im mindestens einen Publikumsbereich (5) entsprechend einem Positionsvektor  $\mathbf{r}_i$  besteht, wobei
- d) sich in dem Koordinatensystem (2) Richtungsvektoren, insbesondere normierte Richtungsvektoren (61)

$$\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|} \text{ ergeben und wobei}$$

- e) in Abhängigkeit von der räumlichen Zuordnung der Positionsvektoren  $\mathbf{s}_i$  und der Schallwandler (9) Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für die Schallwandler (1) bestimmt werden, mit der Elementarwellen (8) durch die Schallwandler (9) abgestrahlt werden, wobei
  - f) die Verzögerungszeiten  $\tau_j$  der Schallwandler (9) jeweils so gewählt sind, dass die lokale Richtung (50) der gemeinsamen Wellenfront (4) der Richtung des Richtungsvektors, insbesondere des normierten Richtungsvektors (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i$ , entspricht und
- wobei die Normale  $\mathbf{n}$  zu der Bezugsfläche (30)  $S$  der Schallwandleranordnung (1) an dem durch  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschriebenen, mit  $[x(u, v), y(u, v), z(u, v)]$ , wobei  $u$  und  $v$  reelle, kontinuierliche Variablen sind, parametrisierten Punkt gegeben ist durch das Kreuzprodukt von  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  als

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

wobei

$\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  gegeben sind durch die partiellen Ableitungen

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial u} \right]^T$$

beziehungsweise

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial z}{\partial v} \right]^T,$$

wobei zur Bestimmung der jeweiligen Verzögerungszeiten  $\tau_j$  zunächst eine skalarwertige Funktion von Ver-

zögerungszeiten  $\tau(u, v)$  für eine endliche Menge von Positionsvektoren der Form  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  ermittelt wird und die Bestimmung der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für die Schallwandler (9) mit Positionsvektor  $\mathbf{s}_j$  zumindest teilweise durch Interpolation von jeweils mindestens zwei Werten der Form  $\tau(u, v)$  erfolgt,

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Verzögerungszeiten  $\tau(u, v)$  mittels numerischer Integration eines diskreten 2D-Vektorfeldes  $[\Delta_u \tau \ \Delta_v \tau]$  bestimmt werden, wobei Verzögerungsdifferenzen  $\Delta_u \tau$  in u-Richtung beziehungsweise  $\Delta_v \tau$  in v-Richtung gegeben sind durch

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u$$

beziehungsweise

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v,$$

und wobei  $\Delta u$  und  $\Delta v$  jeweils diskrete Schrittweiten in u-Richtung beziehungsweise v-Richtung beschreiben, c die Schallgeschwindigkeit beschreibt und wobei  $\hat{d}_u$  und  $\hat{d}_v$  gegeben sind durch die Skalarprodukte

$$\hat{d}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u$$

beziehungsweise

$$\hat{d}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v,$$

wobei  $\hat{\mathbf{d}}$  jeweils den normierten Richtungsvektor ausgehend vom Positionsvektor  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschreibt und  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  Tangentenvektoren zu der Bezugsfläche S ausgehend vom Positionsvektor  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschreiben und Tangentenvektoren  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  dabei gegeben sind durch die partiellen Ableitungen

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial u} \end{bmatrix}$$

beziehungsweise

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial v} & \frac{\partial y}{\partial v} & \frac{\partial z}{\partial v} \end{bmatrix};$$

wobei der Betrieb der Schallwandler (9) mit Verzögerungszeit  $\tau_j$  durch eine Ansteuerung mittels eines Computersystems und/oder mechanisch, insbesondere durch räumlichen Versatz (91) der Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) zueinander, gesteuert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) in oder auf einer Ebene oder in oder auf einer mindestens teilweise gekrümmten oder ebenen Fläche (30), insbesondere gitterartig, angeordnet sind, wobei die Position der akustischen Zentren der Schallwandler von den Kreuzungspunkten des Hilfsrasters (5) abweichen kann, soweit die damit verbundene Änderung von Verzögerungszeit und Pegel durch räumliche Interpolation oder andere Verfahren korrigiert wird, oder wobei die Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) in einem dreidimensionalen Bereich, insbesondere einem Raum, angeordnet sind, insbesondere so, dass mindestens eine Teilmenge der Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) auf einer Referenzfläche (30) angeordnet ist und die Positionen der übrigen Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) sich durch einen Versatz (91) in den dreidimensionalen Bereich bestimmen lassen.
3. Verfahren nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, wobei der mindestens ein Publikumsbereich (3) mindestens teilweise eine konkave und/ oder mindestens teilweise eine konvexe Form aufweist.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, wobei der mindestens ein Publikumsbereich (3) als eine zusammenhängende Fläche beschreibbar ist und/oder der mindestens ein Publikumsbereich (3) als eine unzusammenhängende Fläche, welche aus mindestens zwei zusammenhängenden Flächen zusammengesetzt ist,

beschreibbar ist.

5. Verfahren nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Positionsvektoren  $\mathbf{s}_i$  ein regelmäßiges Raster ergeben und/oder die Positionsvektoren  $\mathbf{r}_i$  ein regelmäßiges Raster (6) auf einer dem mindestens einen Publikumsbereich (3) zugeordneten Fläche ergeben.
  6. Verfahren nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Zuordnung, die jedem Positionsvektor  $\mathbf{s}_i$  den Punkt im mindestens einen Publikumsbereich (3) entsprechend dem Positionsvektor  $\mathbf{r}_i$  zuordnet, mittels Verbindungslinien von der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) in den Publikumsbereich (3) bestimmbar ist.
  7. Verfahren nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Pegel, mit denen die Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) betrieben werden, so angepasst sind, dass der Schalldruck im mindestens einen Publikumsbereich (3) homogen ist, insbesondere wobei die Pegel, mit denen die Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) betrieben werden, mittels eines relativen Verstärkungsfaktors ermittelbar sind, basierend auf der Vorschrift  $\hat{d}_n = \hat{d}_i \cdot \mathbf{n}_i$ , wobei  $\mathbf{n}_i$  jeweils die Normale zur Bezugsfläche (30) S am Positionsvektor  $\mathbf{s}_i$  der dem Schallwandler (9) zugeordnet ist beschreibt.
  8. Verfahren nach mindestens einem der vorherigen Ansprüche, wobei der mindestens eine Publikumsbereich (3) mindestens zwei Teilbereiche aufweist, die mit unterschiedlichem Signalinhalt beschallt werden.
  9. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die gemeinsame Wellenfront (4) so geformt ist, dass sie der Geometrie des mindestens einen Publikumsbereichs (3) angepasst ist, indem eine Zuordnung der Rasterpunkte erfolgt und die gemeinsame Wellenfront (4) dann so geformt wird, dass gleich großen Teilbereichen (106) des mindestens einen Publikumsbereichs (3) im Wesentlichen die gleiche Anzahl von Schallwandlern (9) der Schallwandleranordnung (1) zugeordnet ist.
  10. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Teilbereichen des mindestens einen Publikumsbereichs (3) Teilbereiche der Schallwandleranordnung (1) zugeteilt sind, denen simultan ein unterschiedlicher Audioinhalt zugeordnet werden kann, wobei eine Richtwirkung der Schallwandlervorrichtung (1) genutzt wird, um Signalinhalte auf vorbestimmte Teile des mindestens einen Publikumsbereichs (3) auszurichten, wobei in jedem der Teilbereiche (701, 702, 703) die Zahl der Kreuzungspunkte (6) dann der Zahl der Kreuzungspunkte (5) des Hilfsrasters der Schallwandleranordnung (1) entspricht.
  11. Verfahren zur Bestimmung von Verzögerungszeiten  $\tau_j$  zum Betreiben von Schallwandlern (9) mindestens einer Schallwandleranordnung (1) mit einer Vielzahl von Schallwandlern (9)  $j$  zur Erzeugung von Elementarwellen (8) gemäß der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  zur Beschallung mindestens eines Publikumsbereichs (3), folgende Schritte umfassend
    - Bestimmung eines Koordinatensystems (2), durch welches
      - die mindestens eine Schallwandleranordnung (1) näherungsweise als eine zwei-dimensionale Bezugsfläche (30) S der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) sowie
      - der mindestens einen Publikumsbereich (3) näherungsweise beschrieben sind,
    - Bestimmung von Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  auf der Bezugsfläche (30) S der mindestens einen Schallwandleranordnung (1), aus welchen die Positionen der Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) ermittelbar sind,
    - Bestimmung einer Zuordnung, welche jedem Positionsvektor  $\mathbf{s}$  auf der Bezugsfläche (30) S der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) einen Positionsvektor  $\mathbf{r}$  entsprechend einem Punkt im mindestens einen Publikumsbereich (3) zuordnet,
    - Bestimmung von Richtungsvektoren, insbesondere normierten Richtungsvektoren (61)  $\hat{\mathbf{d}}$  ausgehend von den Positionsvektoren  $\mathbf{s}$ , wobei die normierten Richtungsvektoren (61)  $\hat{\mathbf{d}}$  ausgehend von den Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  jeweils in Richtung des dem Positionsvektors zugeordneten Positionsvektors  $\mathbf{r}$  zeigt, insbesondere gemäß der
- Berechnungsvorschrift  $\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|}$ ; und Bestimmung von Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für Schallwandler  $j$ , so dass sich die von den Schallwandlern (9) erzeugten Elementarwellen (8) bei Betrieb gemäß der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  zu gemeinsamen Wellenfronten (4, 701, 702, 703) überlagern, wobei die normierten Richtungsvektoren (61)  $\hat{\mathbf{d}}$

jeweils lokale Ausbreitungsrichtungen (50) der gemeinsamen Wellenfront (4) beschreiben, wobei die Normale  $\mathbf{n}$  zu der Bezugsfläche (30) S der Schallwandleranordnung (1) an dem durch den  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschriebenen Punkt gegeben ist durch das Kreuzprodukt von  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  als

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

wobei

$\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  gegeben sind durch die partiellen Ableitungen

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \quad \frac{\partial y}{\partial u} \quad \frac{\partial z}{\partial u} \right]^T$$

beziehungsweise

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \quad \frac{\partial y}{\partial v} \quad \frac{\partial z}{\partial v} \right]^T,$$

**wobei** zur Bestimmung der jeweiligen Verzögerungszeiten  $\tau_j$  zunächst eine skalarwertige Funktion von Verzögerungszeiten  $\tau(u, v)$  für eine endliche Menge von Positionsvektoren der Form  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  ermittelt wird und die Bestimmung der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für die Schallwandler (9) mit Positionsvektor  $\mathbf{s}_j$  zumindest teilweise durch Interpolation von jeweils mindestens zwei Werten der Form  $\tau(u, v)$  erfolgt,

**gekennzeichnet dadurch, dass** die Verzögerungszeiten  $\tau(u, v)$  mittels numerischer Integration eines diskreten 2D-Vektorfeldes  $[\Delta_u \tau \quad \Delta_v \tau]$  bestimmt werden, wobei Verzögerungsdifferenzen  $\Delta_u \tau$  in u-Richtung beziehungsweise  $\Delta_v \tau$  in v-Richtung gegeben sind durch

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u$$

beziehungsweise

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v,$$

und wobei  $\Delta u$  und  $\Delta v$  jeweils diskrete Schrittweiten in u-Richtung beziehungsweise v-Richtung beschreiben, c die Schallgeschwindigkeit beschreibt und wobei  $\hat{d}_u$  und  $\hat{d}_v$  gegeben sind durch die Skalarprodukte

$$\hat{d}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u$$

beziehungsweise

$$\hat{d}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v,$$

wobei  $\hat{\mathbf{d}}$  jeweils den normierten Richtungsvektor ausgehend vom Positionsvektor  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschreibt und  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  Tangentenvektoren zu der Bezugsfläche S ausgehend vom Positionsvektor  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschreiben und Tangentenvektoren  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  dabei gegeben sind durch die partiellen Ableitungen

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \quad \frac{\partial y}{\partial u} \quad \frac{\partial z}{\partial u} \right]^T$$

beziehungsweise

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \quad \frac{\partial y}{\partial v} \quad \frac{\partial z}{\partial v} \right]^T.$$

12. Verfahren nach Anspruch 11, umfassend eine Bestimmung von relativen Verstärkungsfaktoren  $\hat{d}_n$  für mindestens eine Teilmenge der Positionsvektoren  $\mathbf{s}$  gemäß der Vorschrift

$$\hat{d}_n = \hat{d} \cdot n,$$

wobei  $n$  eine Normale zu der Bezugsfläche (30)  $S$  der Schallwandleranordnung (1) an dem durch den Positionsvektor  $s$  bestimmten Punkt ist und  $\hat{d}$  der normierte Richtungsvektor (61) ausgehend von dem Positionsvektor, wobei insbesondere die Positionsvektoren  $s$  die Positionen der Schallwandler (9) beschreiben.

13. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 11 bis 12, wobei sich insbesondere die Verbindungslinien (7) zur Bestimmung der normierten Richtungsvektoren (61)  $\hat{d}$  jeweils paarweise nicht kreuzen oder schneiden.
14. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei die Zuordnung zwischen dem Positionsvektor  $s$  und dem Positionsvektor  $r$  automatisch, insbesondere anhand einer 3D-CAD Datei des mindestens einen Publikumsbereichs (3), erfolgt.
15. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei die Positionsvektoren  $r$  gleichmäßig auf der Bezugsfläche  $R$  des mindestens einen Publikumsbereichs (3) verteilt sind, und dadurch gleichmäßig verteilten Punkten im mindestens einen Publikumsbereich (3) entsprechen.
16. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei die Bezugsfläche  $R$  des mindestens einen Publikumsbereichs (3) durch ein Hilfsraster (6) beschrieben ist, auf dem die Positionsvektoren  $r$  mindestens teilweise Kreuzungspunkte sind.
17. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 11 bis 16, wobei die Bezugsfläche (30)  $S$  der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) durch ein Hilfsraster (5) beschrieben ist, auf dem die Positionsvektoren  $s$  mindestens teilweise Kreuzungspunkte sind.
18. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 11 bis 17 wobei die Bezugsfläche (30)  $S$  der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) mittels der Koordinaten  $s(u,v) = [x(u,v) \ y(u,v) \ z(u,v)]$  parametrisiert ist, wobei  $u$  und  $v$  reelle, kontinuierliche Variablen oder diskrete Variablen sind und somit insbesondere die Positionsvektoren  $s$  in der Form  $s = s(u, v)$  beschreibbar sind.
19. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das numerische Integrationsverfahren das Composite-Trapezium-Verfahren, das Simpson-Verfahren, das Ramberg-Verfahren oder das fortgeschrittenere Inverse-Gradienten-Verfahren, umfasst.
20. Computerprogrammprodukt zur Bestimmung von Verzögerungszeiten  $\tau_j$  und relativen Verstärkungsfaktoren  $\hat{d}_n$  wobei das Computerprogrammprodukt Mittel zur Ausführung der Schritte zur Bestimmung von Verzögerungszeiten  $\tau_j$  und relativen Verstärkungsfaktoren  $\hat{d}_n$  gemäß Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 18 verwendet, um die Schritte zur Bestimmung von Verzögerungszeiten  $\tau_j$  gemäß Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 18 auszuführen.
21. Eine Vorrichtung zur Beschallung mindestens eines Publikumsbereichs (3), welche mindestens eine Schallwandleranordnung (1) mit einer Vielzahl von Schallwandlern (9) umfasst,

wobei die mindestens eine Schallwandleranordnung (1) und der mindestens eine Publikumsbereich (3) durch ein Koordinatensystem (2) miteinander geometrisch verknüpft sind und zwischen den physischen Positionen der einzelnen Schallwandler (9) in der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) und Positionsvektoren  $s_j$  zur Festlegung von Koordinaten im Bereich der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) eine räumliche Zuordnung besteht, und ferner eine Zuordnung von Punkten des Koordinatensystems (2) zu Punkten im mindestens einen Publikumsbereich (5) entsprechend einem Positionsvektor  $r_j$  besteht, wobei sich in dem

Koordinatensystem (2) Richtungsvektoren, insbesondere normierte Richtungsvektoren (61)  $\hat{d}_i = \frac{r_i - s_i}{|r_i - s_i|}$  ergeben, ferner umfassend

ein Mittel zur Steuerung der Schallabstrahlung der Schallwandler (9), das in Abhängigkeit von der räumlichen Zuordnung der Positionsvektoren  $s_j$  zu den Schallwandlern (9) Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für die Schallwandler (1) bestimmt, mit der Elementarwellen (8) durch die Schallwandler (9) abgestrahlt werden, wobei die Verzögerungszeiten  $\tau_j$  der Schallwandler (9) jeweils so gewählt sind, dass die lokale Richtung (50) der gemeinsamen Wellenfront (4) der Richtung des Richtungsvektors, insbesondere des normierten Richtungsvektors (61)  $\hat{d}_j$

entspricht und

ein Mittel zur Zuordnung jedes Schallwandlers (9) zu einem Punkt im mindestens einen Publikumsbereich (3)

entsprechend einem Positionsvektor  $r_i$ , so dass sich normierte Richtungsvektoren (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|}$  ergeben und

ein Mittel zur Bestimmung der Verzögerungszeit  $\tau_j$  der Schallwandlers (9) so, dass die lokale Richtung (50) einer gemeinsamen Wellenfront (4) der Richtung des normierten Richtungsvektors (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i$  entspricht, wobei insbesondere die einzelnen Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) jeweils Elementarwellen (8) abstrahlen, die sich zu einer gemeinsamen Wellenfront (4) überlagern und die mindestens eine Schallwandleranordnung (1) und der mindestens einen Publikumsbereich (3) einem gemeinsamen Koordinatensystem (2) zugeordnet sind, in welchem die Positionen der einzelnen Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) und der Schallwandler jeweils mit einer Verzögerungszeit  $\tau_j$  zur Abstrahlung von Elementarwellen (8) betreibbar ist,

wobei die Normale  $\mathbf{n}$  zu der Bezugsfläche (30) S der Schallwandleranordnung (1) an dem durch den  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschriebenen Punkt gegeben ist durch das Kreuzprodukt von  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  als

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

wobei

$\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  gegeben sind durch die partiellen Ableitungen

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \quad \frac{\partial y}{\partial u} \quad \frac{\partial z}{\partial u} \right]^T$$

beziehungsweise

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \quad \frac{\partial y}{\partial v} \quad \frac{\partial z}{\partial v} \right]^T,$$

wobei zur Bestimmung der jeweiligen Verzögerungszeiten  $\tau_j$  zunächst eine skalarwertige Funktion von Verzögerungszeiten  $\tau(u, v)$  für eine endliche Menge von Positionsvektoren der Form  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  ermittelt wird und die Bestimmung der Verzögerungszeiten  $\tau_j$  für die Schallwandler (9) mit Positionsvektor  $\mathbf{s}_j$  zumindest teilweise durch Interpolation von jeweils mindestens zwei Werten der Form  $\tau(u, v)$  erfolgt,

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Verzögerungszeiten  $\tau(u, v)$  mittels numerischer Integration eines diskreten 2D-Vektorfeldes  $[\Delta_u \tau \quad \Delta_v \tau]$  bestimmt werden, wobei Verzögerungsdifferenzen  $\Delta_u \tau$  in u-Richtung beziehungsweise  $\Delta_v \tau$  in v-Richtung gegeben sind durch

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{\mathbf{d}}_u}{c} \Delta u$$

beziehungsweise

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{\mathbf{d}}_v}{c} \Delta v,$$

und wobei  $\Delta u$  und  $\Delta v$  jeweils diskrete Schrittweiten in u-Richtung beziehungsweise v-Richtung beschreiben, c die Schallgeschwindigkeit beschreibt und wobei  $\hat{\mathbf{d}}_u$  und  $\hat{\mathbf{d}}_v$  gegeben sind durch die Skalarprodukte

$$\hat{\mathbf{d}}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u$$

beziehungsweise

$$\hat{\mathbf{d}}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v,$$

wobei  $\hat{\mathbf{d}}$  jeweils den normierten Richtungsvektor ausgehend vom Positionsvektor  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschreibt und  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  Tangentenvektoren zu der Bezugsfläche S ausgehend vom Positionsvektor  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  beschreiben und Tangentenvektoren  $\mathbf{s}_u$  und  $\mathbf{s}_v$  dabei gegeben sind durch die partiellen Ableitungen

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

beziehungsweise

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial z}{\partial v} \right];$$

wobei der Betrieb der Schallwandler (9) mit Verzögerungszeit  $\tau_j$  durch eine Ansteuerung mittels eines Computersystems und/oder mechanisch, insbesondere durch räumlichen Versatz (91) der Schallwandler (9) der mindestens einen Schallwandleranordnung (1) zueinander, gesteuert wird.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, wobei das unterschiedliche Laufzeiten für die Schallwandler (9) der Schallwandleranordnung (1) unter Verwendung einer mechanischen oder geometrischen Positionierung der Schallwandler (9), die mit kohärenten Signalen angesteuert werden, realisiert sind, wobei insbesondere die Signalpegel für den jeweiligen Schallwandler (9) den für die ursprünglichen Kreuzungspunkte des Rasters bestimmten Werten entsprechen können.

## Claims

1. A method for filling at least one public area (3) with sound by at least one sound transducer arrangement (1) with a plurality of sound transducers (9), wherein the individual sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) each emit elementary waves (8), which are superimposed to form a common wavefront (4), wherein

- a) the at least one sound transducer arrangement (1) and the at least one public area (3) are geometrically combined with each other by a coordinate system (2), and  
 b) a spatial allocation exists between the physical positions of the individual sound transducers (9) in the at least one sound transducer arrangement (1) and position vectors  $\mathbf{s}_i$  for defining coordinates in the area of the at least one sound transducer arrangement (1), and furthermore  
 c) an allocation of points of the coordinate system (2) to points in the at least one public area (5) exists corresponding to a position vector  $\mathbf{r}_i$ , wherein

- d) direction vectors, in particular normalized direction vectors (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|}$ , are obtained in the coordinate system (2), and wherein

- e) in dependence on the spatial allocation of the position vectors  $\mathbf{s}_i$  and the sound transducers (9) delay times  $\tau_j$  are determined for the sound transducers (1), with which elementary waves (8) are emitted by the sound transducers (9), wherein

- f) the delay times  $\tau_j$  of the sound transducers (9) each are chosen such that the local direction (50) of the common wavefront (4) corresponds to the direction of the direction vector, in particular of the normalized direction vector (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i$ , and

wherein the normal  $\mathbf{n}$  to the reference surface (30) S of the sound transducer arrangement (1) at the point described by  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$ , parameterized by means of  $[x(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)]$ , wherein  $u$  and  $v$  are real, continuous variables, is given by the cross product of  $\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  as

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

wherein

$\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  are given by the partial derivatives

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial u} \right],$$

or

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial z}{\partial v} \right],$$

wherein, for determining the respective delay times  $\tau_i$  a scalar-valued function of delay times  $\tau(u, v)$  initially is determined for a finite quantity of position vectors of the form  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  and the determination of the delay times  $\tau_i$  for the sound transducers (9) with the position vector  $\mathbf{s}_i$  at least partly is effected by interpolation of at least two values each of the form  $\tau(u, v)$ ,

**characterized in that** the delay times  $\tau(u, v)$  are determined by means of numerical integration of a discrete 2D vector field  $[\Delta_u \tau \ \Delta_v \tau]$ , wherein delay differences  $\Delta_u \tau$  in  $u$ -direction or  $\Delta_v \tau$  in  $v$ -direction are given by

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u$$

or

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v,$$

and wherein  $\Delta u$  and  $\Delta v$  each describe discrete step widths in  $u$  direction or in  $v$  direction,  $c$  describes the sound velocity, and wherein  $\hat{d}_u$  and  $\hat{d}_v$  are given by the scalar products

$$\hat{d}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u$$

or

$$\hat{d}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v,$$

wherein  $\hat{\mathbf{d}}$  each describes the normalized direction vector (61) proceeding from the position vector  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  and  $\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  describe tangent vectors to the reference surface (30)  $S$  proceeding from the position vector  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  and tangent vectors  $\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  are given by the partial derivatives

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

or

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial z}{\partial v} \right];$$

wherein the operation of the sound transducers (9) with the delay time  $\tau_i$  is controlled by an actuation by means of a computer system and/or mechanically, in particular by spatial offset (91) of the sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) relative to each other.

2. The method according to claim 1, wherein the sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) are arranged in or on a plane or in or on an at least partly curved or planar surface (30), in particular in the form of a grid, wherein the position of the acoustic centers of the sound transducers can deviate from the crossing points of the auxiliary grid (5), as far as the related change of delay time and level is corrected by spatial interpolation or other methods, or wherein the sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) are arranged in a three-dimensional area, in particular in a space, in particular such that at least a partial quantity of the sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) is arranged on a reference surface (30) and the positions of the remaining sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) can be determined by an offset (91) into the three-dimensional area.
3. The method according to at least one of the preceding claims, wherein the at least one public area (3) at least partly has a concave shape and/or at least partly a convex shape.
4. The method according to at least one of the preceding claims, wherein the at least one public area (3) can be described



as a coherent surface and/or the at least one public area (3) can be described as an incoherent surface, which is composed of at least two coherent surfaces.

- 5 5. The method according to at least one of the preceding claims, wherein the position vectors  $\mathbf{s}_j$  provide a regular grid and/or the position vectors  $\mathbf{r}_j$  provide a regular grid (6) on a surface associated to the at least one public area (3).
- 10 6. The method according to at least one of the preceding claims, wherein the allocation which to each position vector  $\mathbf{s}_j$  allocates the point in the at least one public area (3) corresponding to the position vector  $\mathbf{r}_j$  can be determined by means of connecting lines from the at least one sound transducer arrangement (1) into the public area (3).
- 15 7. The method according to at least one of the preceding claims, wherein the levels with which the sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) are operated are adapted such that the sound pressure in the at least one public area (3) is homogeneous, in particular wherein the levels with which the sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) are operated can be determined by means of a relative amplification factor, based on the rule  $\hat{\mathbf{d}}_i = \hat{\mathbf{d}}_j \cdot \mathbf{n}_j$ , wherein  $\mathbf{n}_j$  each describes the normal to the reference surface (30) S at the position vector  $\mathbf{s}_j$  which is associated to the sound transducer (9).
- 20 8. The method according to at least one of the preceding claims, wherein the at least one public area (3) includes at least two partial areas, which are filled with sound with a different signal content.
- 25 9. The method according to at least one of the preceding claims, wherein the common wavefront (4) is shaped such that it is adapted to the geometry of the at least one public area (3), in that an allocation of the grid points is effected and the common wavefront (4) then is shaped such that substantially the same number of sound transducers (9) of the sound transducer arrangement (1) is associated to equally large partial areas (106) of the at least one public area (3).
- 30 10. The method according to at least one of the preceding claims, wherein to partial areas of the at least one public area (3) partial areas of the sound transducer arrangement (1) are allocated, to which a different audio content can simultaneously be associated, wherein a directivity of the sound transducer arrangement (1) is utilized to align signal contents with predetermined parts of the at least one public area (3), wherein in each of the partial areas (701, 702, 703) the number of crossing points (6) then corresponds to the number of crossing points (5) of the auxiliary grid of the sound transducer arrangement (1).
- 35 11. A method for determining delay times  $\tau_j$  for operating sound transducers (9) of at least one sound transducer arrangement (1) with a plurality of sound transducers (9)  $j$  for generating elementary waves (8) according to the delay times  $\tau_j$  for filling at least one public area (3) with sound, comprising the following steps

- determining a coordinate system (2), by which

- o the at least one sound transducer arrangement (1) is approximately described as a two-dimensional reference surface (30) S of the at least one sound transducer arrangement (1) and
- o the at least one public area (3) is approximately described,

- determining position vectors  $\mathbf{s}$  on the reference surface (30) S of the at least one sound transducer arrangement (1), from which the positions of the sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) can be determined,

- determining an allocation which to each position vector  $\mathbf{s}$  on the reference surface (30) S of the at least one sound transducer arrangement (1) allocates a position vector  $\mathbf{r}$  corresponding to a point in the at least one public area (3),

- determining direction vectors, in particular normalized direction vectors (61)  $\hat{\mathbf{d}}$  proceeding from the position vectors  $\mathbf{s}$ , wherein the normalized direction vectors (61)  $\hat{\mathbf{d}}$  proceeding from the position vectors  $\mathbf{s}$  each point in the direction of the position vector  $\mathbf{r}$  associated to the position vector  $\mathbf{s}$ ; in particular according to the calculation rule

$$\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|}$$

and determining delay times  $\tau_j$  for sound transducers  $j$  so that in operation according to the delay times  $\tau_j$  the elementary waves (8) generated by the sound transducers (9) are superimposed to form common wavefronts (4, 701, 102, 703), wherein the normalized direction vectors (61)  $\hat{\mathbf{d}}$  each describe local propagation directions (50) of the common wavefront (4), wherein the normal  $\mathbf{n}$  to the reference surface (30) S of the sound transducer arrangement (1) at the point described by the  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  is given by the cross product of  $\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  as

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

wherein

$\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  are given by the partial derivatives

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

or

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial z}{\partial v} \right],$$

wherein for determining the respective delay times  $\tau_j$  a scalar-valued function of delay times  $\tau(u, v)$  initially is determined for a finite quantity of position vectors of the form  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  and the determination of the delay times  $\tau_j$  for the sound transducers (9) with the position vector  $\mathbf{s}_j$  at least partly is effected by interpolation of at least two values each of the form  $\tau(u, v)$ ,

**characterized in that** the delay times  $\tau(u, v)$  are determined by means of numerical integration of a discrete 2D vector field  $[\Delta_u \tau \ \Delta_v \tau]$ , wherein delay differences  $\Delta_u \tau$  in  $u$ -direction or  $\Delta_v \tau$  in  $v$ -direction are given by

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u$$

or

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v,$$

and wherein  $\Delta u$  and  $\Delta v$  each describe discrete step widths in  $u$  direction or in  $v$  direction,  $c$  describes the sound velocity, and wherein  $\hat{d}_u$  and  $\hat{d}_v$  are given by the scalar products

$$\hat{d}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u$$

or

$$\hat{d}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v,$$

wherein  $\hat{\mathbf{d}}$  each describes the normalized direction vector proceeding from the position vector  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  and  $\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  describe tangent vectors to the reference surface (30)  $S$  proceeding from the position vector  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  and tangent vectors  $\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  are given by the partial derivatives

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

or

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial z}{\partial v} \right].$$

- 12.** The method according to claim 11, comprising a determination of relative amplification factors  $\hat{d}_n$  for at least a partial quantity of the position vectors  $\mathbf{s}$  according to the rule

$$\hat{d}_n = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{n},$$

wherein  $\mathbf{n}$  is a normal to the reference surface (30)  $S$  of the sound transducer arrangement (1) at the point determined by the position vector  $\mathbf{s}$  and  $\hat{\mathbf{d}}$  is the normalized direction vector (61) proceeding from the position vector, wherein in

particular the position vectors  $s$  describe the positions of the sound transducers (9).

13. The method according to at least one of claims 11 to 12, wherein in particular the connecting lines (7) for determining the normalized direction vectors (61)  $\hat{d}$  each do not cross or intersect each other in pairs.
14. The method according to at least one of claims 11 to 13, wherein the allocation between the position vector  $s$  and the position vector  $r$  is effected automatically, in particular with reference to a 3D CAD file of the at least one public area (3).
15. The method according to at least one of claims 11 to 14, wherein the position vectors  $r$  are uniformly distributed on the reference surface  $R$  of the at least one public area (3) and thereby correspond to uniformly distributed points in the at least one public area (3).
16. The method according to at least one of claims 11 to 15, wherein the reference surface  $R$  of the at least one public area (3) is described by an auxiliary grid (6) on which the position vectors  $r$  at least partly are crossing points.
17. The method according to at least one of claims 11 to 16, wherein the reference surface (30)  $S$  of the at least one sound transducer arrangement (1) is described by an auxiliary grid (5) on which the position vectors  $s$  at least partly are crossing points.
18. The method according to at least one of claims 11 to 17, wherein the reference surface (30)  $S$  of the at least one sound transducer arrangement (1) is parameterized by means of the coordinates  $s(u, v) = [x(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)]$ , wherein  $u$  and  $v$  are real, continuous variables or discrete variables and thus in particular the position vectors  $s$  can be described in the form  $s = s(u, v)$ .
19. The method according to at least one of claims 1 to 10, wherein the numerical integration method comprises the Composite Trapezium method, the Simpson method, the Romberg method or the more advanced inverse gradient method.
20. A computer program product for determining delay times  $\tau_j$  and relative amplification factors  $\hat{d}_n$ , wherein the computer program product uses means for executing the steps for determining delay times  $\tau_j$  and relative amplification factors  $\hat{d}_n$  according to methods according to one of claims 11 to 18 to perform the steps for determining delay times  $\tau_j$  according to methods according to one of claims 11 to 18.
21. A device for filling at least one public area (3) with sound, which comprises at least one sound transducer arrangement (1) with a plurality of sound transducers (9),

wherein the at least one sound transducer arrangement (1) and the at least one public area (3) are geometrically linked with each other by a coordinate system (2) and between the physical positions of the individual sound transducers (9) in the at least one sound transducer arrangement (1) and position vectors  $s_i$  for defining coordinates in the area of the at least one sound transducer arrangement (1) a spatial allocation exists, and furthermore an allocation of points of the coordinate system (2) to points in the at least one public area (5) exists corresponding to a position vector  $r_i$ , wherein direction vectors, in particular normalized direction vectors (61)

$$\hat{d}_i = \frac{r_i - s_i}{|r_i - s_i|} \text{ are obtained in the coordinate system (2),}$$

further comprising

a means for controlling the sound emission of the sound transducers (9), which in dependence on the spatial allocation of the position vectors  $s_i$  to the sound transducers (9) determines delay times  $\tau_j$  for the sound transducers (1), by means of which elementary waves (8) are emitted by the sound transducers (9), wherein the delay times  $\tau_j$  of the sound transducers (9) each are chosen such that the local direction (50) of the common wavefront (4) corresponds to the direction of the direction vector, in particular of the normalized direction vector (61)  $\hat{d}_i$ , and

a means for allocating each sound transducer (9) to a point in the at least one public area (3) corresponding to a

position vector  $r_i$  so that normalized direction vectors (61)  $\hat{d}_i = \frac{r_i - s_i}{|r_i - s_i|}$  are obtained, and  
 a means for determining the delay time  $\tau_j$  of the sound transducer (9) such that the local direction (50) of a common wavefront (4) corresponds to the direction of the normalized direction vector (61)  $\hat{d}_i$ , wherein in particular the individual sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) each emit elementary

waves (8), which are superimposed to form a common wavefront (4), and the at least one sound transducer arrangement (1) and the at least one public area (3) are associated to a common coordinate system (2) in which the positions of the individual sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) and the sound transducer can each be operated with a delay time  $\tau_j$  for emitting elementary waves (8),  
 wherein the normal  $\mathbf{n}$  to the reference surface (30) S of the sound transducer arrangement (1) at the point described by the  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  is given by the cross product of  $\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  as

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

wherein

$\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  are given by the partial derivatives

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \quad \frac{\partial y}{\partial u} \quad \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

or

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \quad \frac{\partial y}{\partial v} \quad \frac{\partial z}{\partial v} \right],$$

wherein for determining the respective delay times  $\tau_j$  a scalar-valued function of delay times  $\tau(u, v)$  initially is determined for a finite quantity of position vectors of the form  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  and the determination of the delay times  $\tau_j$  for the sound transducers (9) with the position vector  $\mathbf{s}_j$  at least partly is effected by interpolation of at least two values each of the form  $\tau(u, v)$ ,

**characterized in that** the delay times  $\tau(u, v)$  are determined by means of numerical integration of a discrete 2D vector field  $[\Delta_u \tau \quad \Delta_v \tau]$ , wherein delay differences  $\Delta_u \tau$  in  $u$ -direction or  $\Delta_v \tau$  in  $v$ -direction are given by

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u$$

or

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v,$$

and wherein  $\Delta u$  and  $\Delta v$  each describe discrete step widths in  $u$  direction or in  $v$  direction,  $c$  describes the sound velocity, and wherein  $\hat{d}_u$  and  $\hat{d}_v$  are given by the scalar products

$$\hat{d}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u$$

or

$$\hat{d}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v,$$

wherein  $\hat{\mathbf{d}}$  each describes the normalized direction vector proceeding from the position vector  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  and  $\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  describe tangent vectors to the reference surface (30) S proceeding from the position vector  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  and tangent vectors  $\mathbf{s}_u$  and  $\mathbf{s}_v$  are given by the partial derivatives

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \quad \frac{\partial y}{\partial u} \quad \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

or

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \quad \frac{\partial y}{\partial v} \quad \frac{\partial z}{\partial v} \right];$$

wherein the operation of the sound transducers (9) with the delay time  $\tau_j$  is controlled by an actuation by means of a

computer system and/or mechanically, in particular by spatial offset (91) of the sound transducers (9) of the at least one sound transducer arrangement (1) relative to each other.

22. The apparatus according to claim 21, wherein different runtimes for the sound transducers (9) of the sound transducer arrangement (1) are realized by using a mechanical or geometrical positioning of the sound transducers (9), which are actuated with coherent signals, wherein in particular the signal levels for the respective sound transducer (9) can correspond to the values determined for the original crossing points of the grid.

## Revendications

1. Procédé destiné à sonoriser au moins une zone d'audience (3) par au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) avec une pluralité de transducteurs acoustiques (9), dans lequel les transducteurs acoustiques individuels (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) émettent chacun des ondes élémentaires (8) qui se superposent en un front d'ondes commun (4), dans lequel

a) l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) et l'au moins une zone d'audience (3) sont reliés géométriquement l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un système de coordonnées (2) et

b) entre les positions physiques des transducteurs acoustiques individuels (9) dans l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) et des vecteurs de position  $\mathbf{s}_j$  destinés à déterminer des coordonnées dans la zone de de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1), il existe une affectation spatiale, et en outre

c) il existe une affectation de points du système de coordonnées (2) à des points dans l'au moins une zone d'audience (5) correspondant à un vecteur de position  $\mathbf{r}_i$ , dans lequel

d) on obtient des vecteurs de direction dans le système de coordonnées (2), en particulier des vecteurs de

direction normalisés (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|}$  et dans lequel

e) des temps de retard  $\tau_j$  pour les transducteurs acoustiques (1) sont définis en fonction de l'affectation spatiale des vecteurs de position  $\mathbf{s}_j$  et des transducteurs acoustiques (9), avec lesquels des ondes élémentaires (8) sont émises par l'intermédiaire des transducteurs acoustiques (9), dans lequel

f) les temps de retard  $\tau_j$  des transducteurs acoustiques (9) sont chacun choisis de telle sorte que la direction locale (50) du front d'ondes commun (4) corresponde à la direction du vecteur de direction, en particulier du vecteur de direction normalisé (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i$ , et

dans lequel la normale  $\mathbf{n}$  à la surface de référence (30) S de l'agencement de transducteurs acoustiques (1) au point décrit par  $\mathbf{s} = s(u, v)$ , paramétré avec  $[x(u, v) \ y(u, v) \ z(u, v)]$ , où  $u$  et  $v$  sont des variables continues réelles, est donnée par le produit vectoriel de  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  en tant que

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

où

$\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  sont donnés par les dérivées partielles

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \ \frac{\partial y}{\partial u} \ \frac{\partial z}{\partial u} \right] :$$

respectivement

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \ \frac{\partial y}{\partial v} \ \frac{\partial z}{\partial v} \right],$$

où pour définir les temps de retard respectifs  $\tau_j$  une fonction à valeur scalaire de temps de retard  $\tau(u, v)$  est d'abord déterminée pour un ensemble fini de vecteurs de position de la forme  $\mathbf{s} = s(u, v)$  et la définition des temps de retard  $\tau_j$  pour les transducteurs acoustiques (9) avec vecteur de position  $\mathbf{s}_j$  se fait au moins partiellement par interpolation à chaque fois d'au moins deux valeurs de la forme  $\tau(u, v)$ ,

**caractérisé en ce que** les temps de retard  $\tau(u, v)$  sont définis à l'aide d'une intégration numérique d'un champ vectoriel en 2D discret  $[\Delta_u \tau \ \Delta_v \tau]$ , dans lequel des différences de retard  $\Delta_u \tau$  dans la direction  $u$  respectivement  $\Delta_v \tau$  dans la direction  $v$  sont données par

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u$$

respectivement

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v ,$$

et où  $\Delta u$  et  $\Delta v$  décrivent chacun des incréments discrets dans la direction  $u$  respectivement la direction  $v$ ,  $c$  décrit la vitesse du son et où  $\hat{d}_u$  et  $\hat{d}_v$  sont donnés par les produits scalaires

$$\hat{d}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u$$

respectivement

$$\hat{d}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v ,$$

où  $\hat{\mathbf{d}}$  décrit à chaque fois le vecteur de direction normalisé à partir du vecteur de position  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  et  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  décrivent des vecteurs tangents à la surface de référence  $S$  à partir du vecteur de position  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  et des vecteurs tangents  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  sont ainsi donnés par les dérivées partielles

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \quad \frac{\partial y}{\partial u} \quad \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

respectivement

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \quad \frac{\partial y}{\partial v} \quad \frac{\partial z}{\partial v} \right]$$

où le fonctionnement des transducteurs acoustiques (9) avec un temps de retard  $\tau_j$  est commandé par une commande à l'aide d'un système d'ordinateur et/ou mécaniquement, en particulier par un décalage spatial (91) des transducteurs acoustiques (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) l'un par rapport à l'autre.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les transducteurs acoustiques (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) sont agencés dans ou sur un plan ou dans ou sur une surface au moins partiellement courbée ou plane (30), en particulier de type grille, dans lequel la position des centres acoustiques des transducteurs acoustiques peut dévier des points de croisement de la grille auxiliaire (5) dans la mesure où le changement de temps de retard et de niveau qui y est lié est corrigé par une interpolation spatiale ou une autre procédure, ou dans lequel les transducteurs acoustiques (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) sont agencés dans une zone tridimensionnelle, en particulier une pièce, en particulier de telle sorte qu'au moins un ensemble partiel de transducteurs acoustiques (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) soit agencé sur une surface de référence (30) et les positions des transducteurs acoustiques restants (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) peuvent être définies par un décalage (91) dans la zone tridimensionnelle.
3. Procédé selon au moins une des revendications précédentes, dans lequel l'au moins une zone d'audience (3) présente au moins partiellement une forme concave et/ou au moins partiellement une forme convexe.
4. Procédé selon au moins une des revendications précédentes, dans lequel l'au moins une zone d'audience (3) peut être décrite comme une surface d'un seul tenant et/ou l'au moins une zone d'audience (3) peut être décrite comme une surface non continue qui est composée d'au moins deux surfaces d'un seul tenant.
5. Procédé selon au moins une des revendications précédentes, dans lequel les vecteurs de position  $\mathbf{s}_i$  produisent une grille régulière et/ou les vecteurs de position  $\mathbf{r}_i$  produisent une grille régulière (6) sur une surface associée à l'au moins une zone d'audience (3).
6. Procédé selon au moins une des revendications précédentes, dans lequel l'affectation qui affecte à chaque vecteur de

position  $\mathbf{s}_i$  le point dans l'au moins une zone d'audience (3) correspondant au vecteur de position  $\mathbf{r}_i$ , peut être définie à l'aide de lignes de connexion de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) dans la zone d'audience (3).

7. Procédé selon au moins une des revendications précédentes, dans lequel les niveaux auxquels les transducteurs acoustiques (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) fonctionnent sont adaptés de telle sorte que la pression acoustique soit homogène dans au moins une zone d'audience (3), en particulier dans lequel les niveaux auxquels les transducteurs acoustiques (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) fonctionnent peuvent être déterminés à l'aide d'un facteur d'amplification relative, sur la base de la règle  $\hat{\mathbf{d}}_i = \hat{\mathbf{d}}_i \cdot \mathbf{n}_i$ , où  $\mathbf{n}_i$  décrit à chaque fois la normale par rapport à la surface de référence (30) S au niveau du vecteur de position  $\mathbf{s}_i$  qui est associé au transducteur acoustique (9).

8. Procédé selon au moins une des revendications précédentes, dans lequel l'au moins une zone d'audience (3) présente au moins deux zones partielles qui sont sonorisées avec un contenu de signal différent.

9. Procédé selon au moins une des revendications précédentes, dans lequel le front d'ondes commun (4) est formé de telle sorte qu'il soit adapté à la géométrie de l'au moins une zone d'audience (3) en effectuant une affectation des points de grille et le front d'ondes commun (4) est alors formé de telle sorte que sensiblement le même nombre de transducteurs acoustiques (9) de l'agencement de transducteurs acoustiques (1) soit associé à des zones partielles (106) de même grandeur de l'au moins une zone d'audience (3).

10. Procédé selon au moins une des revendications précédentes, dans lequel des zones partielles de l'agencement de transducteurs acoustiques (1) sont attribuées à des zones partielles de l'au moins une zone d'audience (3), auxquelles simultanément un contenu audio différent peut être associé, dans lequel une directivité du dispositif de transducteur acoustique (1) est utilisée pour aligner des contenus de signal sur des parties prédéfinies de l'au moins une zone d'audience (3), dans lequel dans chacune des zones partielles (701, 702, 703) le nombre de points de croisement (6) correspond alors au nombre de points de croisement (5) de la grille auxiliaire de l'agencement de transducteurs acoustiques (1).

11. Procédé destiné à définir des temps de retard  $\tau_j$  pour faire fonctionner des transducteurs acoustiques (9) d'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) avec une pluralité de transducteurs acoustiques (9)  $j$  pour produire des ondes élémentaires (8) en fonction des temps de retard  $\tau_j$  afin de sonoriser au moins une zone d'audience (3), comprenant les étapes suivantes

- définition d'un système de coordonnées (2), par lequel

◦ l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) est décrit de manière approximative comme une surface de référence en deux dimensions (30) S de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) ainsi que

◦ l'au moins une zone d'audience (3) est décrite de manière approximative,

- définition de vecteurs de position  $\mathbf{s}$  sur la surface de référence (30) S de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1), à partir desquels les positions des transducteurs acoustiques (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) peuvent être déterminées,

- définition d'une affectation qui affecte à chaque vecteur de position  $\mathbf{s}$  sur la surface de référence (30) S de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) un vecteur de position  $\mathbf{r}$  correspondant à un point dans au moins une zone d'audience (3),

- définition de vecteurs de direction, en particulier de vecteurs de direction normalisés (61)  $\hat{\mathbf{d}}$  à partir des vecteurs de position  $\mathbf{s}$ , dans lequel les vecteurs de direction normalisés (61)  $\hat{\mathbf{d}}$  apparaissent à partir des vecteurs de position  $\mathbf{s}$  à chaque fois dans la direction du vecteur de position  $\mathbf{r}$  associé au vecteur de position, en particulier

selon la règle de calcul  $\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|}$  et définition de temps de retard  $\tau_j$  pour les transducteurs acoustiques  $j$ , de telle sorte que les ondes élémentaires (8) produites par les transducteurs acoustiques (9) lors du fonctionnement en fonction des temps de retard  $\tau_j$  se superposent dans les fronts d'ondes communs (4, 701, 702, 703), dans lequel les vecteurs de direction normalisés (61)  $\hat{\mathbf{d}}$  décrivent à chaque fois des directions de propagation locales (50) du front d'ondes commun (4), dans lequel la normale  $\mathbf{n}$  à la surface de référence (30) S de l'agencement de transducteurs acoustiques (1) au point décrit par  $\mathbf{s} = s(u, v)$  est donnée par le produit vectoriel de  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  en tant que

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

où  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  sont donnés par les dérivées partielles

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \quad \frac{\partial y}{\partial u} \quad \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

respectivement

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \quad \frac{\partial y}{\partial v} \quad \frac{\partial z}{\partial v} \right]$$

où pour définir les temps de retard respectifs  $\tau_j$  une fonction à valeur scalaire de temps de retard  $\tau(u, v)$  est d'abord déterminée pour un ensemble fini de vecteurs de position de la forme  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  et la définition des temps de retard  $\tau_j$  pour les transducteurs acoustiques (9) avec vecteur de position  $\mathbf{s}_i$  se fait au moins partiellement par interpolation à chaque fois d'au moins deux valeurs de la forme  $\tau(u, v)$ ,

**caractérisé en ce que** les temps de retard  $\tau(u, v)$  sont définis à l'aide d'une intégration numérique d'un champ vectoriel 2D discret  $[\Delta_u \tau \quad \Delta_v \tau]$ , dans lequel des différences de retard  $\Delta_u \tau$  dans la direction  $u$  respectivement  $\Delta_v \tau$  dans la direction  $v$  sont données par

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{d}_u}{c} \Delta u$$

respectivement

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{d}_v}{c} \Delta v$$

et où  $\Delta u$  et  $\Delta v$  décrivent chacun des incréments discrets dans la direction  $u$  respectivement la direction  $v$ ,  $c$  décrit la vitesse du son et où  $\hat{d}_u$  et  $\hat{d}_v$  sont donnés par les produits scalaires

$$\hat{d}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u$$

respectivement

$$\hat{d}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v,$$

où  $\hat{\mathbf{d}}$  décrit à chaque fois le vecteur de direction normalisé à partir du vecteur de position  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  et  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  décrivent des vecteurs tangents à la surface de référence  $S$  à partir du vecteur de position  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$  et des vecteurs tangents  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  sont ainsi donnés par les dérivées partielles

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \quad \frac{\partial y}{\partial u} \quad \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

respectivement

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \quad \frac{\partial y}{\partial v} \quad \frac{\partial z}{\partial v} \right].$$

- 12.** Procédé selon la revendication 11, comprenant une définition de facteurs d'amplification relative  $\hat{d}_n$  pour au moins un ensemble partiel des vecteurs de position  $\mathbf{s}$  selon la règle

$$\hat{d}_n = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{n},$$

où  $\mathbf{n}$  est une normale à la surface de référence (30)  $S$  de l'agencement de transducteurs acoustiques (1) au point défini



par le vecteur de position  $\mathbf{s}$  et  $\hat{\mathbf{d}}$  le vecteur de direction normalisé (61) à partir du vecteur de position, dans lequel en particulier les vecteurs de position  $\mathbf{s}$  décrivent les positions des transducteurs acoustiques (9).

13. Procédé selon au moins une des revendications 11 à 12, dans lequel en particulier les lignes de connexion (7) ne se croisent pas ou ne se coupent pas pour définir des vecteurs de direction normalisés (61)  $\hat{\mathbf{d}}$  à chaque fois par paire.

14. Procédé selon au moins une des revendications 11 à 13, dans lequel l'affectation entre le vecteur de position  $\mathbf{s}$  et le vecteur de position  $\mathbf{r}$  se fait automatiquement, en particulier à l'aide d'un fichier CAO en 3D de l'au moins une zone d'audience (3).

15. Procédé selon au moins une des revendications 11 à 14, dans lequel les vecteurs de position  $\mathbf{r}$  sont régulièrement réparties sur la surface de référence R de l'au moins une zone d'audience (3) et correspondent ainsi à des points régulièrement répartis dans au moins une zone d'audience (3).

16. Procédé selon au moins une des revendications 11 à 15, dans lequel la surface de référence R de l'au moins une zone d'audience (3) est décrite par une grille auxiliaire (6) sur laquelle les vecteurs de position  $\mathbf{r}$  sont au moins partiellement des points de croisement.

17. Procédé selon au moins une des revendications 11 à 16, dans lequel la surface de référence (30) S de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) est décrite par une grille auxiliaire (5) sur laquelle les vecteurs de position  $\mathbf{s}$  sont au moins partiellement des points de croisement.

18. Procédé selon au moins une des revendications 11 à 17, dans lequel la surface de référence (30) S de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) est paramétrée à l'aide des coordonnées  $\mathbf{s}(u, v) = [x(u, v) y(u, v) z(u, v)]$ , où  $u$  et  $v$  sont des variables continues réelles ou des variables discrètes et donc en particulier les vecteurs de position  $\mathbf{s}$  peuvent être décrits dans la forme  $\mathbf{s} = \mathbf{s}(u, v)$ .

19. Procédé selon au moins une des revendications 1 à 10, dans lequel la méthode d'intégration numérique comprend la méthode des trapèzes composites, la méthode de Simpson, la méthode de Romberg ou la méthode plus avancée à gradient inversé.

20. Produit de programme d'ordinateur pour définir des temps de retard  $\tau_j$  et des facteurs d'amplification relative  $\hat{d}_n$ , dans lequel le produit de programme d'ordinateur utilise des moyens d'exécution des étapes destinées à définir des temps de retard  $\tau_j$  et des facteurs d'amplification relative  $\hat{d}_n$ , selon le procédé selon une des revendications 11 à 18, afin d'exécuter les étapes destinées à définir des temps de retard  $\tau_j$  selon le procédé selon une des revendications 11 à 18.

21. Dispositif destiné à sonoriser au moins une zone d'audience (3) qui comprend au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) avec une pluralité de transducteurs acoustiques (9),

dans lequel l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) et l'au moins une zone d'audience (3) sont reliés géométriquement l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un système de coordonnées (2) et, entre les positions physiques des transducteurs acoustiques individuels (9) dans l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) et des vecteurs de position  $\mathbf{s}_j$  destinés à déterminer des coordonnées dans la zone d'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1), il existe une affectation spatiale, et en outre il existe une affectation de points du système de coordonnées (2) à des points dans l'au moins une zone d'audience (5) correspondant à un vecteur de position  $\mathbf{r}_i$ , dans lequel on obtient des vecteurs de direction dans le système de

coordonnées, en particulier des vecteurs de direction normalisés (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|}$ ,

comprenant en outre un moyen destiné à commander l'émission de son des transducteurs acoustiques (9) qui, en fonction de l'affectation spatiale des vecteurs de position  $\mathbf{s}_j$  aux transducteurs acoustiques (9), définit des temps de retard  $\tau_j$  pour les transducteurs acoustiques (1), avec lesquels des ondes élémentaires (8) sont émises par l'intermédiaire des transducteurs acoustiques (9), dans lequel les temps de retard  $\tau_j$  des transducteurs acoustiques (9) sont chacun choisis de telle sorte que la direction locale (50) du front d'ondes commun (4) corresponde à la direction du vecteur de direction, en particulier du vecteur de direction normalisé (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i$  et un moyen destiné à affecter chaque transducteur acoustique (9) à un point dans au moins une zone d'audience (3) correspondant à un vecteur de position  $\mathbf{r}_i$ , de telle sorte qu'on obtienne des vecteurs de direction normalisés

$$(61) \quad \hat{\mathbf{d}}_i = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{s}_i|} \text{ et}$$

un moyen destiné à définir le temps de retard  $\tau_j$  des transducteurs acoustiques (9) de telle sorte que la direction locale (50) d'un front d'ondes commun (4) corresponde à la direction du vecteur de direction normalisé (61)  $\hat{\mathbf{d}}_i$ , dans lequel en particulier les transducteurs acoustiques individuels (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) émettent chacun des ondes élémentaires (8) qui se superposent en un front d'ondes commun (4) et l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) et l'au moins une zone d'audience (3) sont associés à un système de coordonnées commun (2), dans lequel les positions des transducteurs acoustiques individuels (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) et des transducteurs acoustiques peuvent fonctionner à chaque fois avec un temps de retard  $\tau_j$  pour émettre des ondes élémentaires (8),

dans lequel la normale  $\mathbf{n}$  à la surface de référence (30) S de l'agencement de transducteurs acoustiques (1) au point décrit par  $\mathbf{s} = s(u, v)$  est donnée par le produit vectoriel de  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  en tant que

$$\mathbf{n} = \mathbf{s}_u \times \mathbf{s}_v,$$

où

$\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  sont donnés par les dérivées partielles

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial u} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial u} \end{bmatrix}$$

respectivement

$$\mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial v} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial v} & \frac{\partial y}{\partial v} & \frac{\partial z}{\partial v} \end{bmatrix},$$

où, pour définir les temps de retard respectifs  $\tau_j$  une fonction à valeur scalaire de temps de retard  $\tau(u, v)$  est d'abord déterminée pour un ensemble fini de vecteurs de position de la forme  $\mathbf{s} = s(u, v)$  et la définition des temps de retard  $\tau_j$  pour les transducteurs acoustiques (9) avec vecteur de position  $\mathbf{s}_j$  se fait au moins partiellement par interpolation à chaque fois d'au moins deux valeurs de la forme  $\tau(u, v)$ ,

**caractérisé en ce que** les temps de retard  $\tau(u, v)$  sont définis à l'aide d'une intégration numérique d'un champ vectoriel 2D discret  $[\Delta_u \tau \ \Delta_v \tau]$ , dans lequel des différences de retard  $\Delta_u \tau$  dans la direction  $u$  respectivement  $\Delta_v \tau$  dans la direction  $v$  sont données par

$$\Delta_u \tau = \frac{\hat{\mathbf{d}}_u}{c} \Delta u$$

respectivement

$$\Delta_v \tau = \frac{\hat{\mathbf{d}}_v}{c} \Delta v,$$

et où  $\Delta u$  et  $\Delta v$  décrivent chacun des incréments discrets dans la direction  $u$  respectivement la direction  $v$ ,  $c$  décrit la vitesse du son et où  $\hat{\mathbf{d}}_u$  et  $\hat{\mathbf{d}}_v$  sont donnés par les produits scalaires

$$\hat{\mathbf{d}}_u = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_u$$

respectivement

$$\hat{\mathbf{d}}_v = \hat{\mathbf{d}} \cdot \mathbf{s}_v,$$

où  $\hat{\mathbf{d}}$  décrit à chaque fois le vecteur de direction normalisé à partir du vecteur de position  $\mathbf{s} = s(u, v)$  et  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  décrivent des vecteurs tangents à la surface de référence S à partir du vecteur de position  $\mathbf{s} = s(u, v)$  et des vecteurs tangents  $\mathbf{s}_u$  et  $\mathbf{s}_v$  sont ainsi donnés par les dérivées partielles

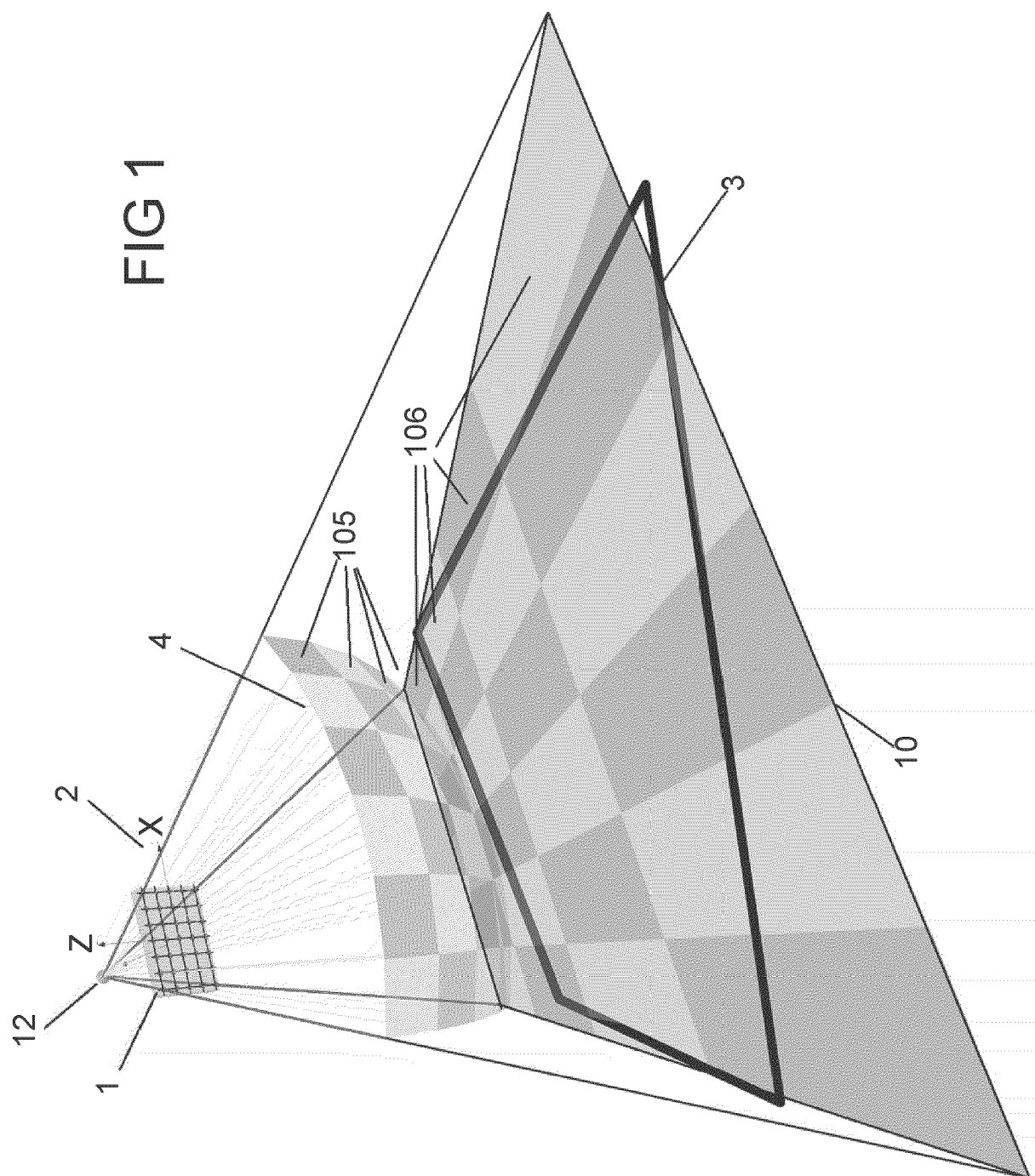
$$s_u = \frac{\partial s}{\partial u} = \left[ \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial u} \right]$$

respectivement

$$s_v = \frac{\partial s}{\partial v} = \left[ \frac{\partial x}{\partial v} \frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial z}{\partial v} \right].$$

dans lequel le fonctionnement des transducteurs acoustiques (9) avec un temps de retard  $\tau_j$  est commandé par une commande à l'aide d'un système d'ordinateur et/ou mécaniquement, en particulier par un décalage spatial (91) des transducteurs acoustiques (9) de l'au moins un agencement de transducteurs acoustiques (1) l'un par rapport à l'autre.

22. Dispositif selon la revendication 21, dans lequel les différents temps de fonctionnement pour les transducteurs acoustiques (9) de l'agencement de transducteurs acoustiques (1) sont réalisés en utilisant un positionnement mécanique ou géométrique des transducteurs acoustiques (9) qui sont commandés avec des signaux cohérents, dans lequel en particulier les niveaux de signaux pour le transducteur acoustique (9) respectif peuvent correspondre aux valeurs définies pour les points de croisement d'origine de la grille.



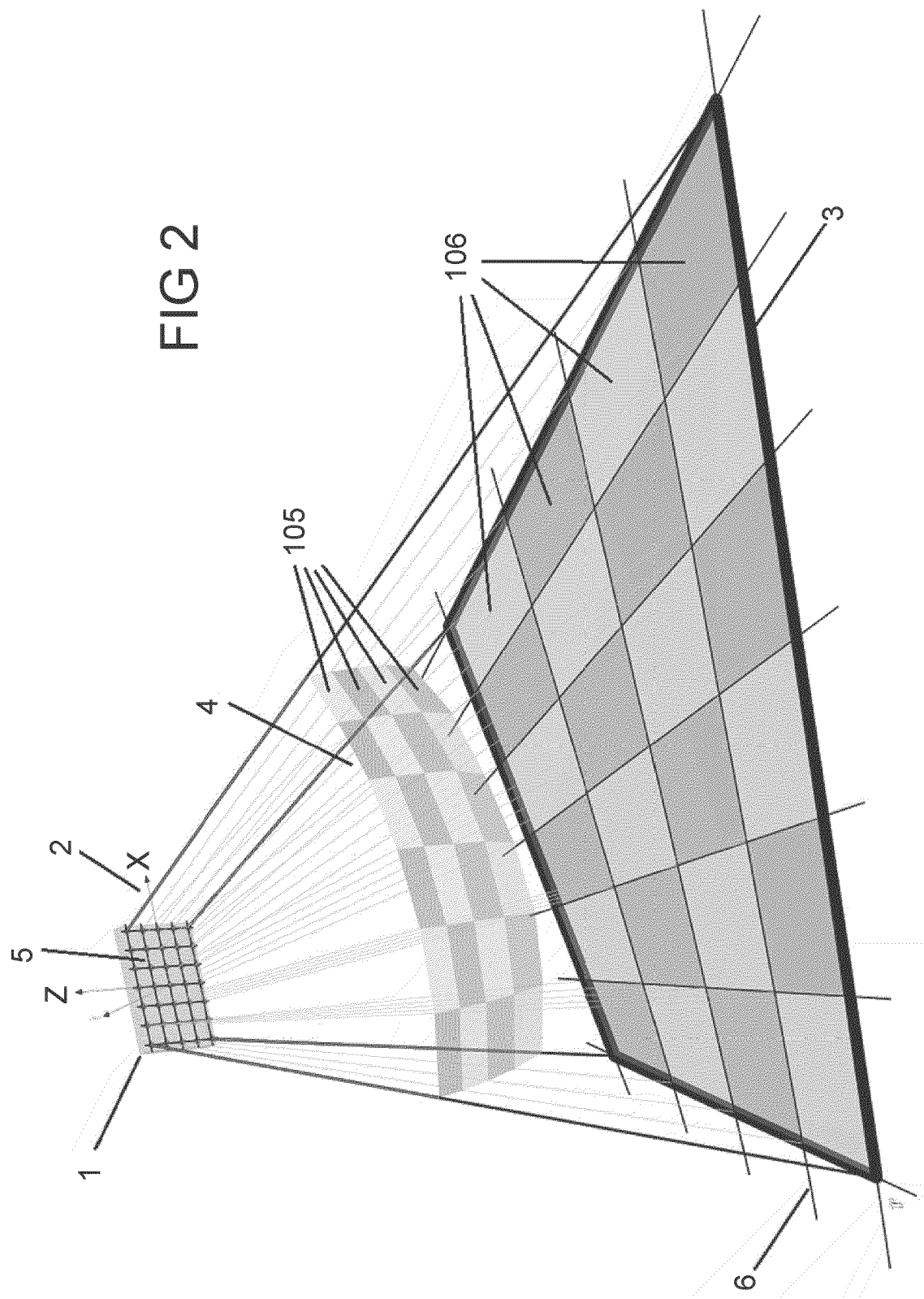
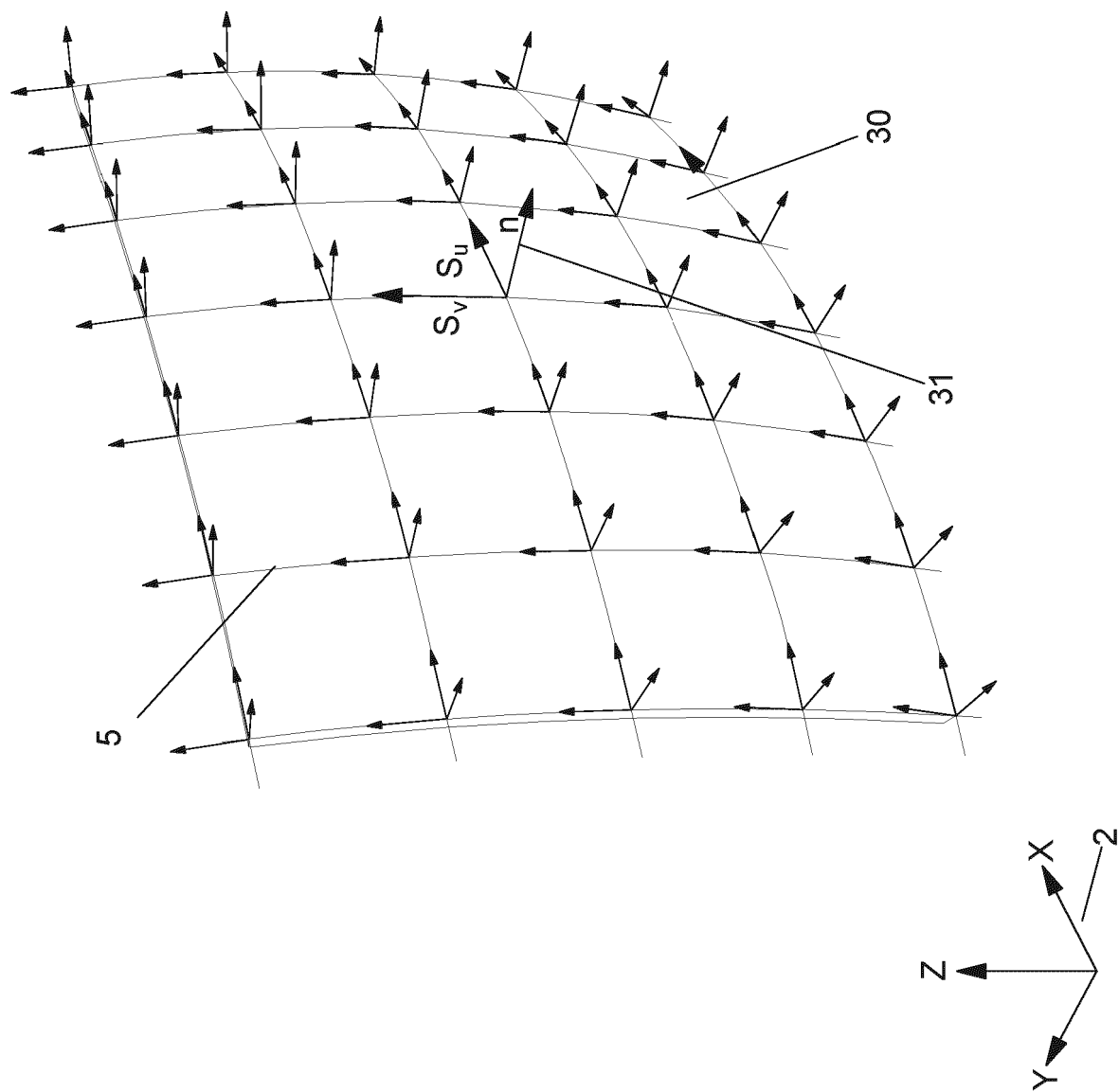


FIG 3



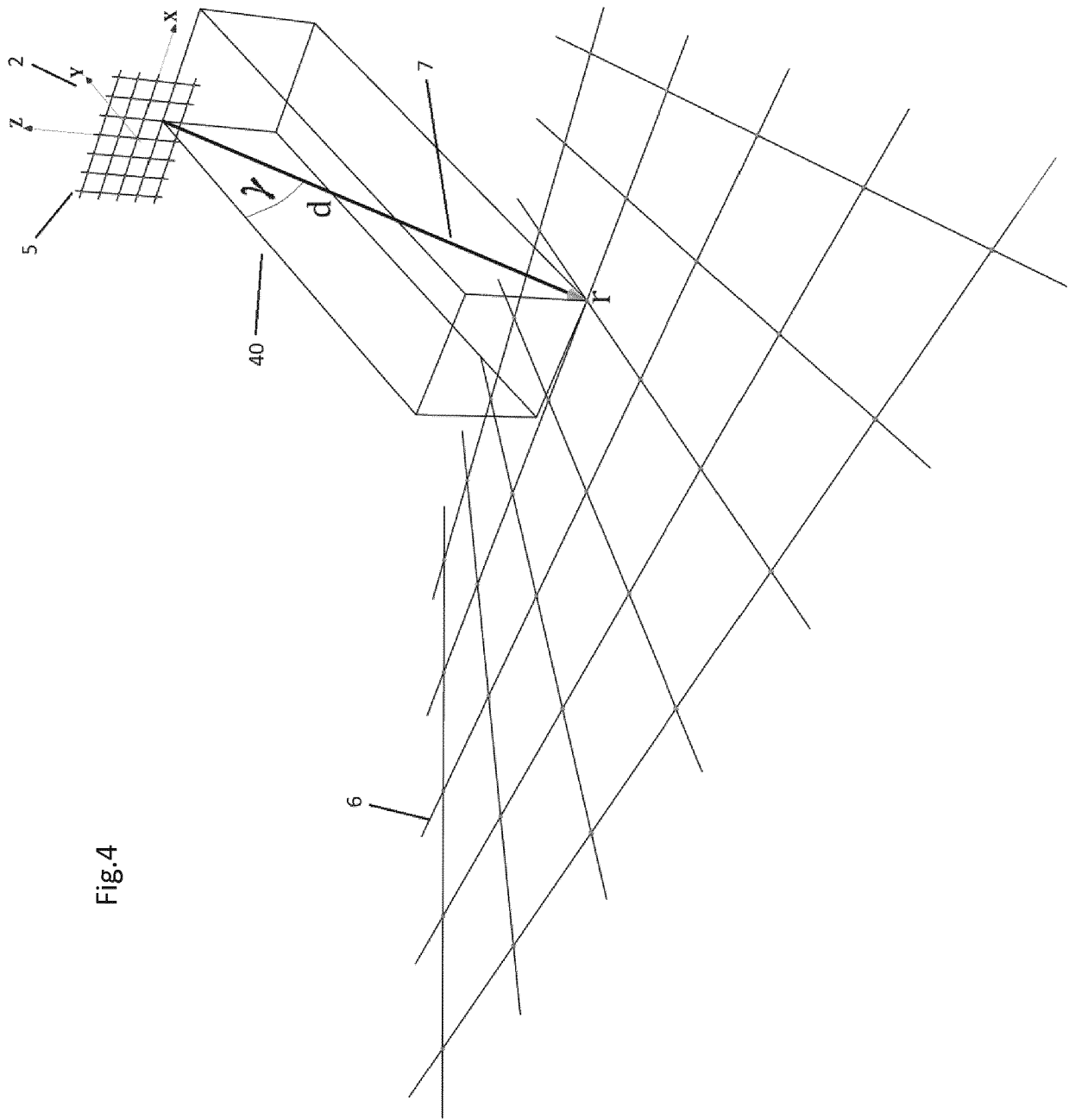


Fig.4

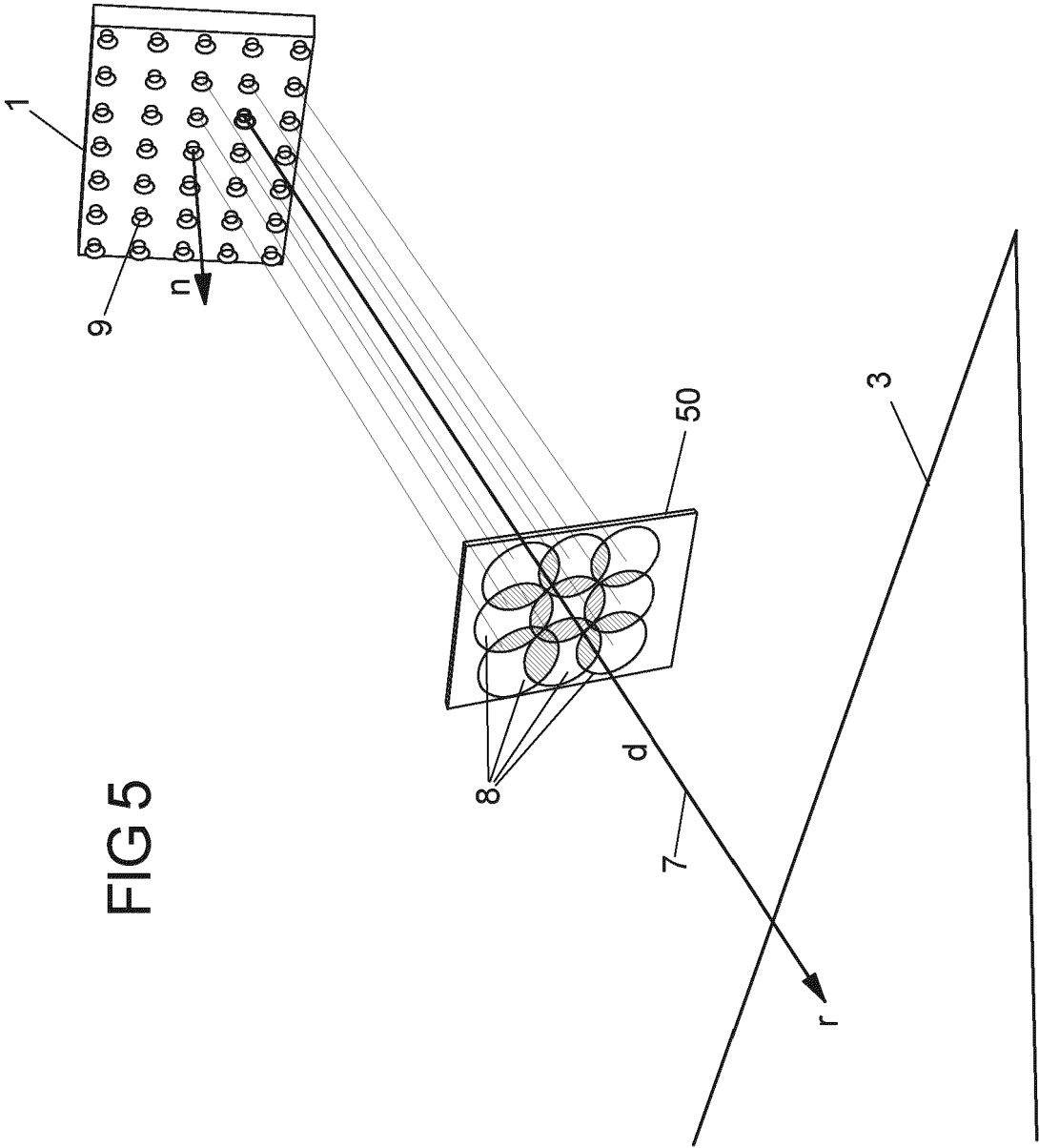
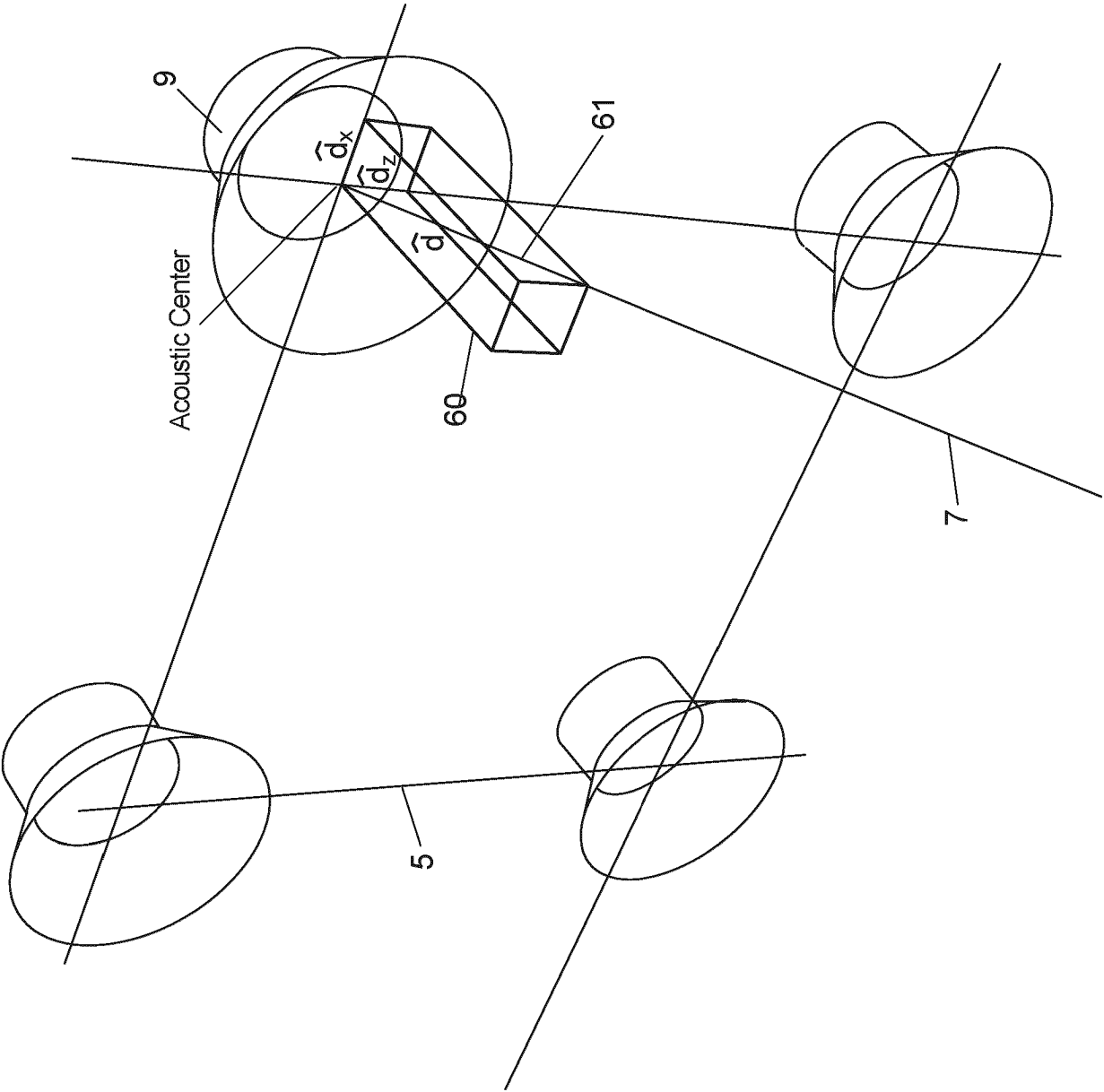




FIG 6



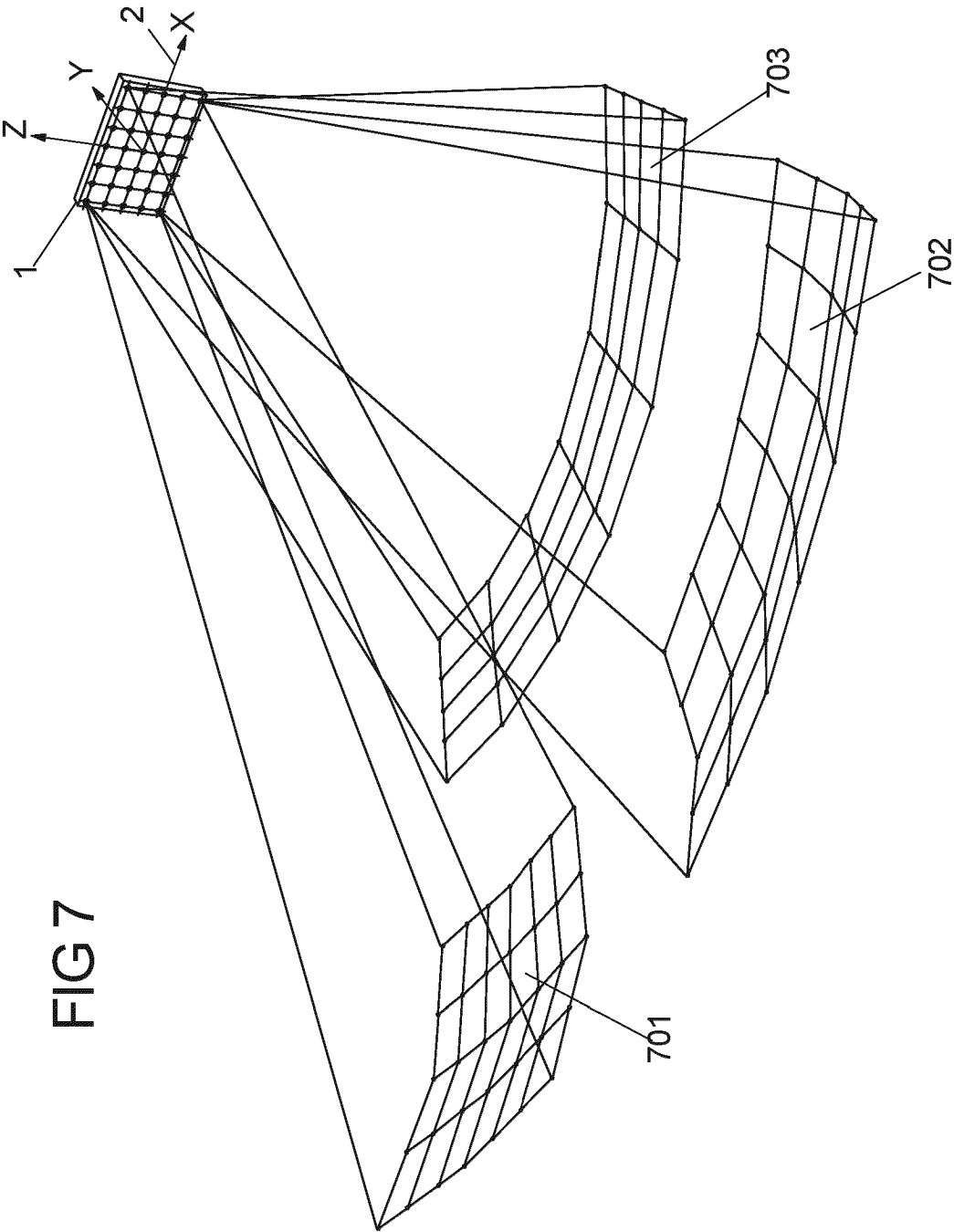


FIG 8

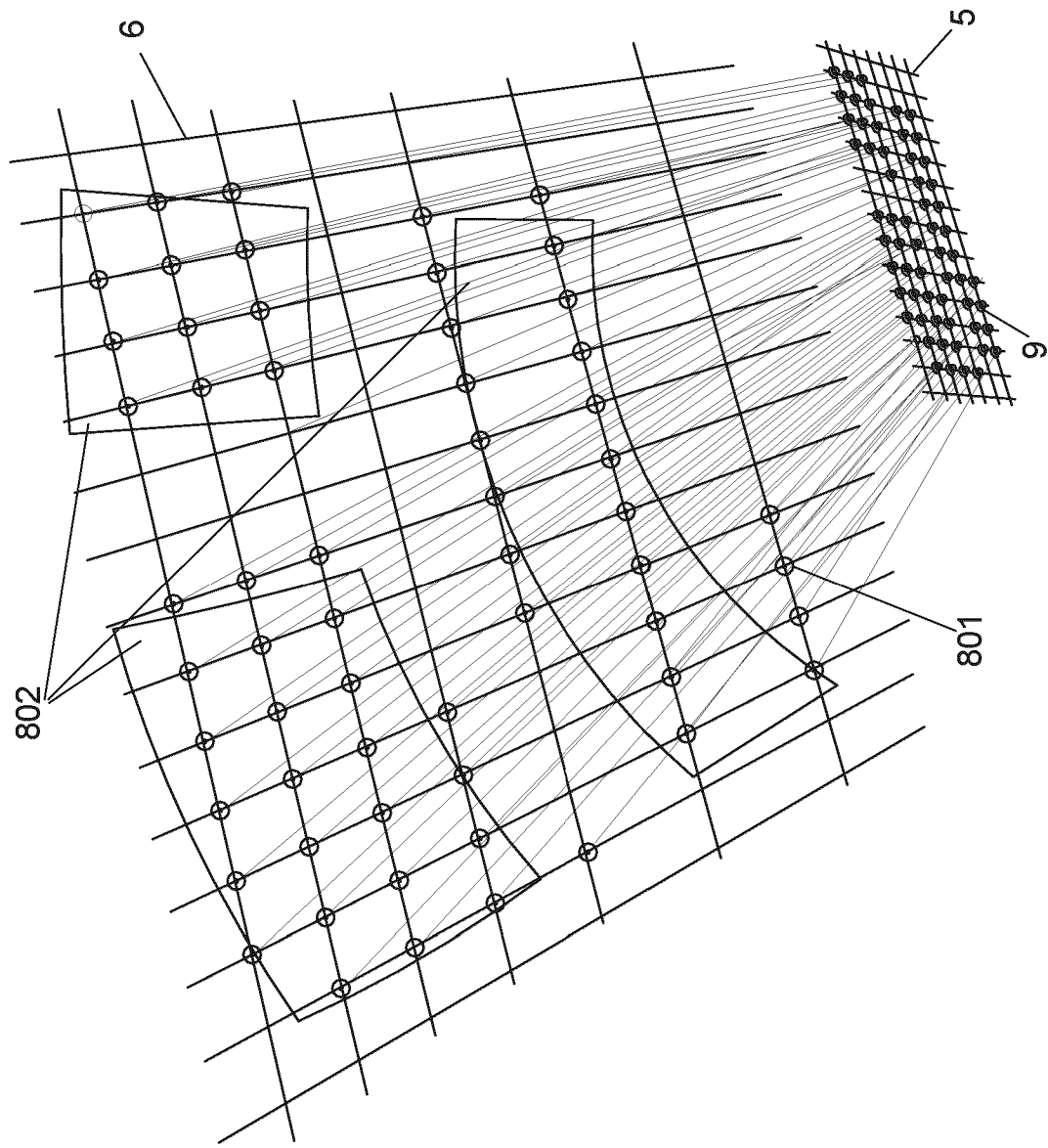
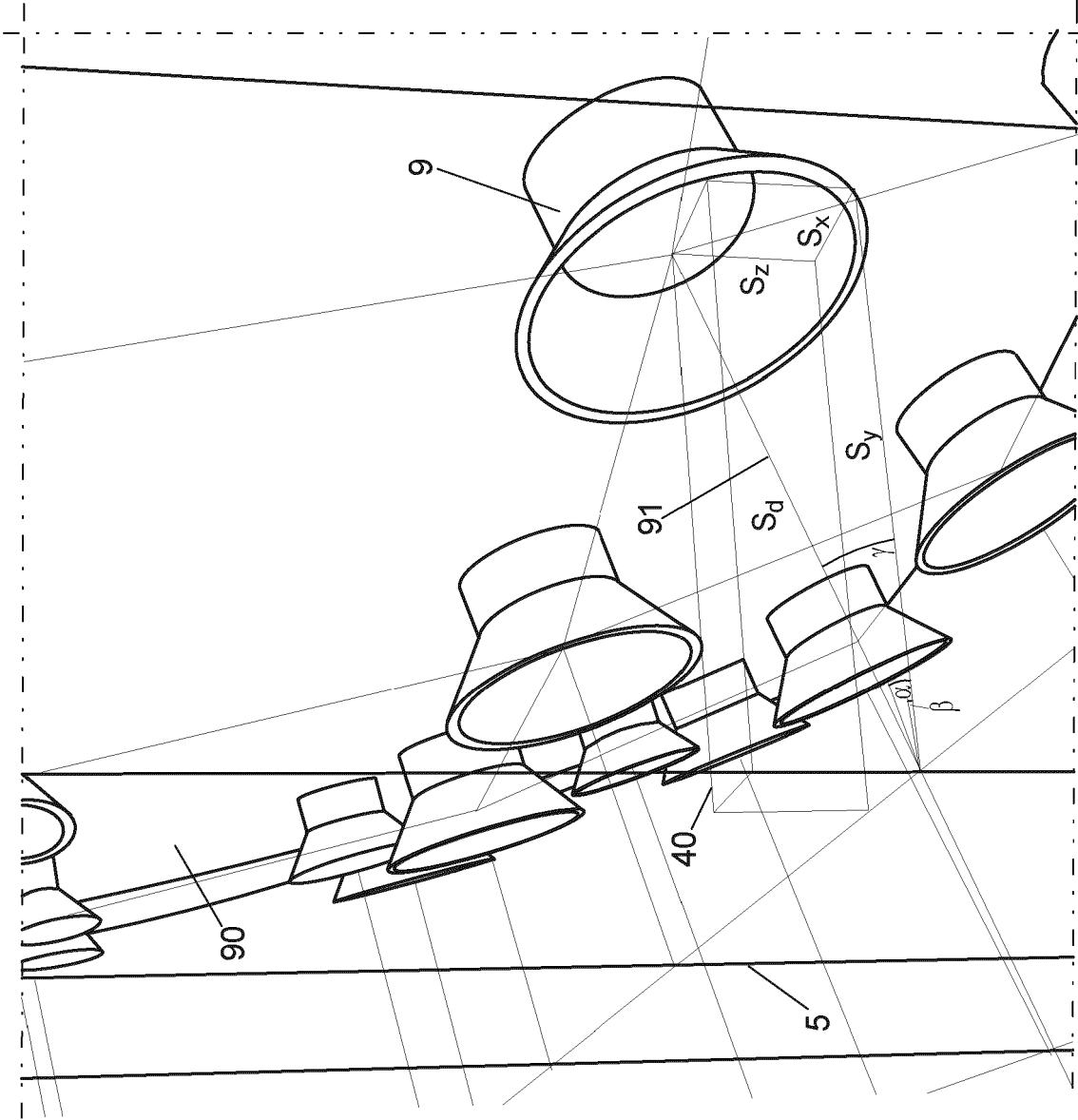


FIG 9



## IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

### In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2015036845 A1 [0008]
- JP 2013013129 A [0009]
- JP 200923198 A [0009]
- US 2021204085 A1 [0009]
- WO 2015022579 A3 [0069]
- DE 102019208631 A1 [0069]
- DE 102009006762 A1 [0103]
- WO 2015004526 A2 [0156]

### In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **A.J.BERKHOUT.** A Holographic Approach to Acoustic Control. *J.Audio Eng.Soc.*, 1988, vol. 36 (12) [0002]
- The Single-layer Potential Approach Applied to Sound Field Synthesis Including Cases of Non-enclosing Distributions of Secondary Sources. **JENS AHRENS.** Dissertation. Technische Universität, 2010 [0137]