

Die Wellenfeldsynthese



Einleitung

Die Wellenfeldsynthese, was ist das?

Die Wellenfeldsynthese ist ein räumliches Audiowiedergabeverfahren, das Wellenfronten virtueller Schallquellen synthetisiert. Hierdurch wird ein ebenfalls virtueller akustischer Raum erzeugt. Das Verfahren ist unabhängig von psychoakustischen Effekten wie Phantom-schallquellen und wird auch Schallfeldsynthese oder Holofonie genannt. Erfunden wurde sie 1988 von Prof. Berkhout an der TU Delft in den Niederlanden. In den Jahren 2001 - 2003 forschten europaweit 10 Institute auf dem Gebiet der WFS, darunter IRCAM, IRT, Fraunhofer, France Telecom und Studer. Schließlich wurde das Verfahren im Rahmen des Carrouso-Projektes (creating, assessing and rendering in real-time of high quality audio-visual environments in MPEG 4 context) gefördert.

Von Mono bis WFS

Mono, Stereo, Sourround, warum jetzt noch WFS?

1.0 Sound - Monophonie

Bis in 1950er Jahre war die Monophonie die gängige Technik für Abbildung akustischer Signale durch Lautsprecher. Diese Einkanaltechnik hat gegenüber anderen Wiedergabetechniken entscheidende Nachteile. So ist es nicht möglich, mittels eines Lautsprechers verschiedene akustische Signale räumlich aufzuteilen. Dies führt zu einem undifferenzierten Klangbild. Das heißt, es ist schwierig einzelne Schallquellen innerhalb einer Mischung mit z.B. mehreren Instrumenten getrennt zu lokalisieren. Naheliegender ist auch, dass Räumlichkeit und Fülle einer Mischung geringer ausfallen als bei Mehrkanaltechniken.

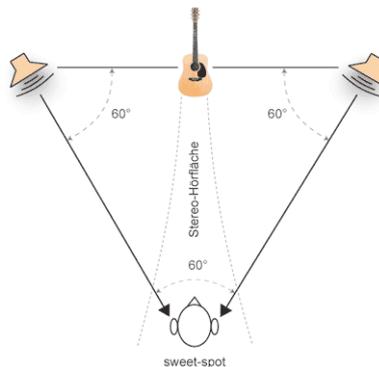
Vorteil bei der Monophonie: alle Schallquellen sind 100% Ortsstabil.

Berechtigterweise wurde die Monotechnik in den 1950er Jahren von der Stereophonie abgelöst.

2.0 Sound - Stereophonie

Durch das zweikanalige Stereophonie-Verfahren wurde das Verteilen von akustischen Signalen auf der Achse zwischen zwei Lautsprechern möglich.

Laufzeitdifferenzen zwischen den beiden Lautsprechern führen zu einem räumlichen Schalleindruck eines Signals. Das Signal wandert je nach Verzögerung zum Linken oder Rechten Lautsprecher, ohne Verzögerung befindet es sich in dem Mittelpunkt auf der Achse zwischen den Lautsprechern. Erhöhte Lokalisationsschärfe bei geringerer Räumlichkeit als bei Laufzeitdifferenzen, erhält man bei Pegeldifferenzen der beiden Lautsprecher. Auch hier wandert, je nach Pegeldifferenz, die Schallquelle zwischen den Lautsprechern. Diese sich im Raum bildende Schallquelle bezeichnet man als Phantomschallquelle.



Der gewonnene Raum auf der Basis zwischen den beiden Lautsprechern, führt beim geschickten positionieren der Schallquellen auf eben dieser zu einer erhöhten Durchsichtigkeit einer Mischung.

Die beschriebenen Nachteile der Monophonie scheinen gelöst, jedoch entstehen aus den Vorteilen neue Probleme.

Der Zuhörer muss sich innerhalb der Stereohörfläche in einer bestimmten geometrischen Anordnung zu den Lautsprechern befinden. Nur an diesem Punkt im Raum, dem

sogenannten Sweet Spot, finden sich optimale Abhörbedingungen. Dieser befindet sich mit einem Öffnungswinkel von 60° zu den Lautsprechern in der Mitte der Basis.

Die Phantomschallquellen welche auf der Lautsprecherbasis mittels Pegel- und/oder Laufzeitdifferenzen positioniert wurden sind nicht ortsstabil. Nimmt der Zuhörer eine andere Sitzposition ein, so wandern die Phantomschallquellen auf der Lautsprecherbasis mit. Gegenüber Realschallquellen haben diese weniger Präsenz und einen weniger präzisen Hörort.

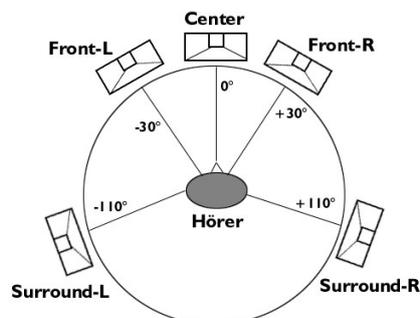
Die Stereophonie ist eine eindimensionale Technik und lässt keine reale Tiefenstaffelung zu. Bedingt kann man mittels psychoakustischer Maßnahmen einen räumlichen Tiefeneindruck schaffen. Für die Tiefenstaffelung wichtige Parameter sind Lautstärke, Anteil der Erstreflexionen, Direkt- und Diffusanteil einer Schallquelle.

Um Phantomschallquellen auch im Raum um den Zuhörer herum und nicht nur auf der Basis abbilden zu können, wurde erst die Quadrophonie und anschließend die 5.1 Surround Wiedergabetechnik entwickelt.

5.1 Surround Sound

Schon Mitte der 60er Jahre begann die Entwicklung dieser Technik, zu Deutsch Raumklang, in den Dolby Laboratories in San Francisco.

Mittels Surround ist es möglich Phantomschallquellen im Raum (Hörfeld) des Zuhörers zu positionieren. Aber das Grundproblem bleibt bestehen: es ist keine ortsstabile räumliche Abbildung von Schallquellen mittels phantomschallquellenbasierter Wiedergabe möglich. Das heißt, es gibt nach wie vor nur einen Sweet Spot welcher im Zentrum des Hörbereiches liegt. Bei 5.1 Mehrkanalton gilt es insgesamt sechs Wege zu speisen. Der LFE-Kanal (Low Frequency Effect), für die Wiedergabe von Basseffekten, die Frontkanäle Links, Center und Rechts, sowie Surround Rechts und Surround Links.



Durch den hinzugekommenen Center-Kanal auf der Basis zwischen den linken und rechten Frontkanälen ergibt sich eine ortsstabile Mitte, was zu erhöhter Präsenz und Lokalisation der dort positionierten Schallquellen führt.

Allerdings führen bereits minimale Kopfbewegungen zu Phasenproblemen und Klangveränderungen von Phantomschallquellen welche im Raum abgebildet werden sollen. Die Positionierung von Schallquellen in unmittelbarer Nähe zum Zuhörer ist problematisch und sie sind für diesen nur schwer ortbar. Studien zufolge ist es nur in bestimmten Bereichen des Hörfeldes möglich Phantomschallquellen so zu Positionieren, dass diese für den Zuhörer auch eindeutig dort lokalisierbar sind.

Es gibt weitere Mehrkanaltonverfahren wie 6.1 und 7.1. Bei 6.1. kommt ein weiterer Kanal für Backsurround hinzu, bei 7.1 zwei weitere Kanäle für die Front. 7.1 beruht auf dem SDDS-Verfahren welches 2005 von Sony eingestellt wurde. Bereits im Jahr 2005 hat der Dachverband amerikanischer Filmstudios (DCI) ein Standard veröffentlicht, der 20 Wiedergabekanäle im Kino vorsieht.

Dennoch, all diese Wiedergabetechniken besitzen einen Sweet Spot, bieten keine optimale Lokalisation und keine, bzw. geringe Ortsstabilität von Schallquellen.

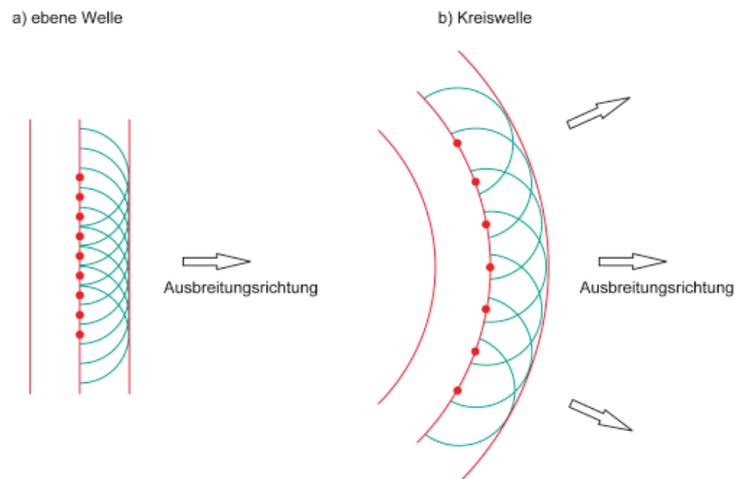
Physikalisches Prinzip



Die physikalische Grundlage der Wellenfeldsynthese bildet das Huygenssche Prinzip:

Jeder Punkt einer Wellenfront ist Ausgangspunkt einer neuen Elementarwelle. Die Position der sich ausbreitenden Welle ergibt sich durch Addition aller Elementarwellen. So kann eine Wellenfront durch viele kleine Elementarwellen dargestellt werden.

Christiaan Huygens



Der Akustische Vorhang

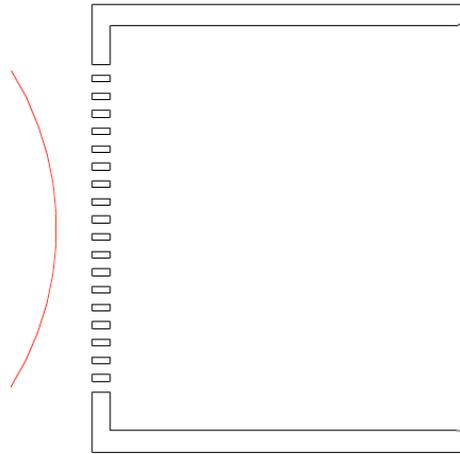
Die Idee des akustischen Vorhangs aus dem Jahr 1930 geht von einer Wand mit sehr vielen Löchern aus. Ein Schallereignis könnte durch diese Wand sehr gut wahrgenommen werden. Würde man die Löcher mit Lautsprechern verschließen und jeden Lautsprecher auf der einen Seite mit einem Mikrophon verbinden, so könnte ein Schallereignis auf der anderen Seite ebenso gut wahrgenommen und so die perfekte Übertragung erreicht werden. Die Idee wurde aber wieder verworfen, da für die große Anzahl von Kanälen nicht genug Bandbreite bereitgestellt werden konnte, was selbst heute noch ein Problem darstellen würde.

Der Akustische Vorhang

perforated wall



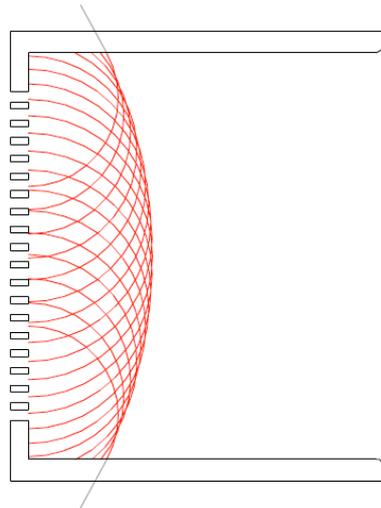
Copyright 2007 Helmut Dellers
URL: www.synt.helmutdellers.de
GNU Free Documentation License



perforated wall



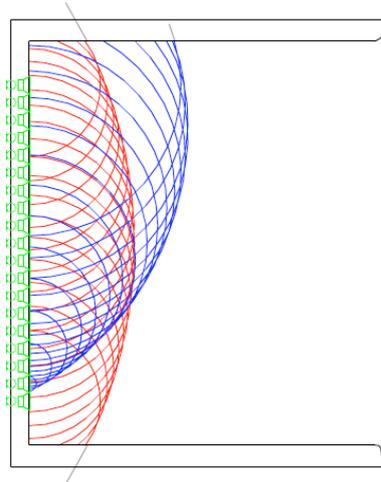
Copyright 2007 Helmut Dellers
URL: www.synt.helmutdellers.de
GNU Free Documentation License



acoustic curtain



Copyright 2007 Helmut Dellers
URL: www.synt.helmutdellers.de
GNU Free Documentation License



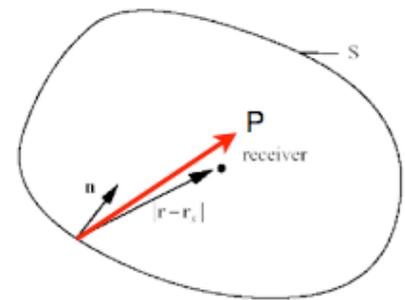
Das Kirchhoff - Helmholtz Integral

$$P(r, \omega) = \frac{1}{4\pi} \iint_S \left[P(r_s, \omega) \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{-jk|r-r_s|}}{|r-r_s|} \right) - \frac{\partial P(r_s, \omega)}{\partial n} \frac{e^{-jk|r-r_s|}}{|r-r_s|} \right] dS$$

Das Integral bildet die mathematische Grundlage für die Wellenfeldsynthese. Es besagt, dass der Schalldruck an jedem beliebigen Punkt eines quellfreien Volumens bestimmt ist, wenn Schalldruck und Schallschnelle auf der Oberfläche des Volumens bekannt sind. Zur Vereinfachung kann folgendes Schaubild betrachtet werden:

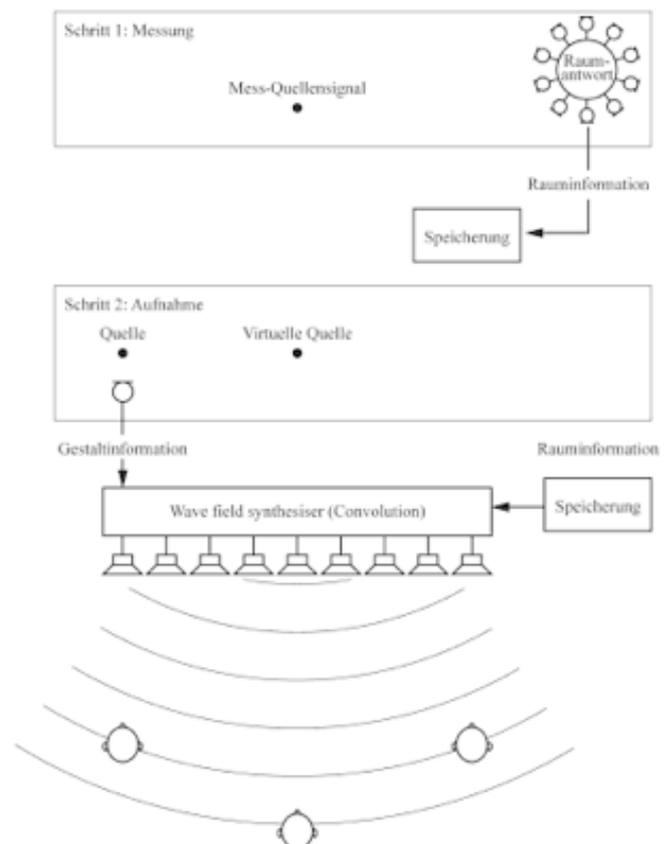
Dargestellt wird ein quellfreies Volumen S mit Schalldruck und Schallschnelle als Vektoren an einem beliebigen Punkt der Oberfläche von S.

Der resultierende Vektor aus beiden zeigt das Schallfeld am Punkt P.



Aufnahme und Wiedergabe

In Bezug auf Aufnahme und Wiedergabe gibt es jedoch wesentliche Unterschiede zwischen dem Akustischen Vorhang und der Wellenfeldsynthese. Beim Akustischen Vorhang wird jedem Lautsprecher ein Mikrofon zugeordnet, d.h. an allen Übertragungskanälen der Wand liegt das gleiche Signal an, dementsprechend wird eine hohe Bandbreite für die Übertragung benötigt. Der zeitliche Versatz wird vom DSP errechnet. Der entscheidende Unterschied zur WFS ist, dass bei dieser lediglich 2 Signale pro Schallquelle übertragen werden müssen: Das Monosignal der Schallquelle selbst und die sogenannte Raumimpulsantwort (IR = Impulse Response) wird vor oder nach der eigentlichen Aufnahme mit Hilfe eines im Kreis angeordneten Mikrofonarrays erzeugt. Durch einen lauten Impuls wird der Raum angeregt und zum Schwingen gebracht. Schalldruck und Schallschnelle werden aufgenommen und nach dem Kirchhoff - Helmholtz Integral kann das Schallfeld rekonstruiert werden.



Bei der Wiedergabe wird durch die sogenannte Faltung das Monosignal mit der IR verrechnet. Das Audiosignal erhält so seine Information bezüglich Ort, Reflexionen und Nachhall zurück. Durch dieses Verfahren eröffnet sich die Möglichkeit, den Raum auszutauschen oder gar einen virtuellen Raum zu berechnen. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass das Audiosignal selbst keine Rauminformationen enthält und im Wiedergaberaum optimalerweise keine Reflexionen entstehen, da sich die Räume sonst überlagern würden.

Hardware



Lautsprecher

Jeder einzelne Lautsprecher braucht einen eigenen Verstärkerkanal welcher berechnet werden muss. Die Anzahl der Lautsprecher beeinflusst maßgeblich die Wiedergabeeigenschaften der Wellenfeldsynthese. Der Abstand zwischen den Lautsprechern sollte daher so gering wie möglich gehalten werden.

Laut mathematischem Ansatz besteht die Schallwelle einer Schallquelle aus unendlich vielen Elementarwellen. Um die Wellenfeldsynthese optimal umsetzen zu können, wird theoretisch ein Band aus unendlich dicht beieinander liegenden Lautsprechern benötigt. Dies lässt sich jedoch technisch, als auch wirtschaftlich nicht umsetzen. Wird der Abstand zwischen den Lautsprechern allerdings zu groß, kommt es zu Aliasing Effekten welche das Klangbild negativ beeinträchtigen. Je nach Position des Zuhörers äußert sich das sog. Spatial Aliasing mehr oder weniger in Einbrüchen im Frequenzgang und daraus resultierenden räumlichen Abbildungsfehlern. Die Abstände der Lautsprecher bestimmen somit die Grenzfrequenz ab

der Spatial Aliasing einsetzt und Schallquellen nicht mehr korrekt synthetisiert werden können.

Zum einfacheren Verständnis, kann man hierbei eine Analogie zur Analog-Digital Wandlung herstellen. Die Abtastrate in der A/D Wandlung entspricht der räumlichen Abtastung der (berechneten) Wellenfront an einer Geraden, dem Lautsprecherarray.

Wichtig für unser Gehör sind die Schallinformationen bis zu der Grenzfrequenz falias, welche für die Lokalisation von Schallquellen von hohen nutzen sind. In Abbildung 1 sind die spektralen Abbildungsfehler oberhalb von 2000 Hz deutlich zu erkennen, in dieser Messung hatten die Lautsprecher einen Abstand von etwa 10 cm.

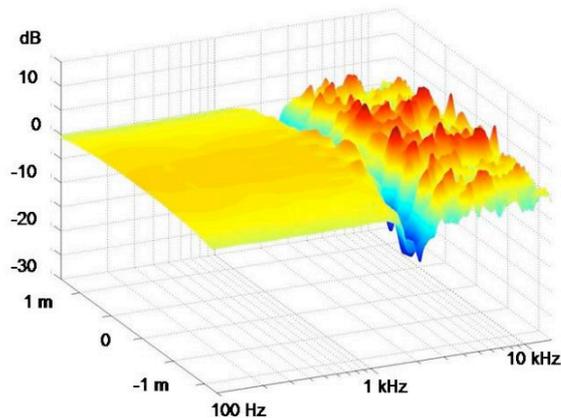


Abb. 1: Spatial Aliasing Effekt bei einem Lautsprecherabstand von etwa 10cm

Da unser Gehör zu hohen Frequenzen (oberhalb 2000 Hz) nicht so empfindlich ist wie zu tiefen, sind die spektralen Fehler in hohen Frequenzbereichen für die Lokalisation vernachlässigbar, wenn auch hörbar.

Als Lösungsansatz zur Minderung dieses Problems gilt das sog. OPSI (Optimized Phantom Source Imaging) Verfahren. Bei diesem kombinierten Verfahren werden Schallquellen unterhalb der Spatial Aliasing Grenzfrequenz mittels der Wellenfeldsynthese erzeugt und oberhalb der Grenzfrequenz werden wie bei herkömmlichen Mehrkanalverfahren mittels Einsatz weniger Lautsprecher Phantomschallquellen erzeugt. Kombiniert erlaubt diese Technik die Abbildung ortstabiler virtueller Schallquellen ohne räumliche und spektrale Fehler. Nun dürfte deutlich geworden sein, dass sich die Anzahl der notwendigen Lautsprecher stark von der gewünschten Wiedergabequalität und Lokalisationspräzision, sowie der Größe des Hörbereiches abhängig ist.



Um diese geringen Abstände am praktikabelsten zu realisieren, werden Wellenfeldsynthesensysteme bevorzugt in Modulbauweise konstruiert. Hier befinden sich entsprechend viele Lautsprecher in einem Gehäuse. In dem Beispielbild ist ein Modul aus der TU Berlin zu sehen. Die einzelnen Visaton Lautsprecher sind zum Verringern von Partialschwingungen in ihrer vertikalen Anordnung nochmals in einzelne Frequenzbereiche aufgeteilt.

Raum

Wie schon erläutert ist es notwendig, das System in einem entsprechend akustisch optimierten Raum zu installieren. Hierbei gilt zu bedenken, dass die Nachhallzeit des Raumes die des Wellenfeldes nicht überschreiten sollte.

Berechnung

Für die Berechnung der vielen einzelnen Kanäle werden leistungsfähige IPCs benötigt. Für diese Anwendungen gibt es verschiedene Hersteller mit unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Algorithmen) auf dem Markt.



Abb. 3: IPC 100 der Firma IOSONO

Die Firma IOSONO (Ausgründung von Fraunhofer), Sonic Emotion, Spatial Sound Fraunhofer stellen dabei die führenden Unternehmen dar.

Mit dem in Abbildung 2 gezeigten IPC lassen sich zwischen 5 bis 128 Lautsprecherkanäle verwalten und bis zu 64 berechnen. Eingangsseitig besitzt der IPC 100 neben analogen Inputs auch digitale Schnittstellen wie MADI, ADAT und AES/EBU. Möchte man mehr Kanäle verwalten, kann man die Anzahl der Controller erhöhen und diese entsprechend kaskadieren.

Anwendungen

TU Berlin, HörSaal 104

Das größte Wellenfeldsynthesesystem der Welt wurde 2007 im Hörsaal 104 der Technischen Universität in Berlin installiert.



Abb.4:
Hörsaal 104

Hier hat das Lautsprecherband eine umlaufende Länge von circa 86 m. Insgesamt müssen 832 Kanäle und 2.700 Lautsprecher verwaltet werden. Die Lautsprecher wurden in der zuvor beschriebenen Modulbauweise konstruiert. Hierbei haben die einzelnen Chassis einen

Abstand von gerade mal 10cm. Breitbandlautsprecher und Tieftöner werden in einem Gehäuse kombiniert. Sie haben einen breiten horizontalen, sowie engen vertikalen Abstrahlwinkel um Reflexionen von Boden und Decke zu reduzieren. Es wurde zusätzliche Frontbeschallung für detailliertere Höheninformationen und Deckenlautsprecher für die optionale Möglichkeit der vertikalen Abbildung von Schallquellen installiert. Die Akustik des Raumes wurde optimiert und auf eine geringe Nachhallzeit von 0,95 s gebracht.

In der Vergangenheit wurde hier bereits in Kooperation mit dem WDR ein Orgelkonzert aus dem Kölner Dom live in den HörSaal 104 übertragen. Es wurden 24 Kanäle übertragen und bis zu 8 s Nachhallzeit erzeugt.

Musikhochschule Detmold

Mit Hilfe der vom Fraunhofer Institut entwickelten IOSONO Technik, wurden hier ein Konzertsaal mit 300 Lautsprechern, und ein Regieraum mit 80 Lautsprechern ausgestattet. Im Letzteren lassen sich bis zu 32 virtuelle Schallquellen abbilden.

Bregenzer Festspiele

Zu den Pionieren des öffentlichen Einsatzes der Wellenfeldsynthese zählen die Bregenzer Festspiele. Hier wurde 2004 mit der Unterstützung vom Fraunhofer Institut ein IOSONO System installiert. Es umfasst 820 Lautsprecher und wird hier hauptsächlich zur Darstellung von Soundeffekten eingesetzt. Für die Ortung der Darsteller auf der Bühne, wurde das System 2011 durch die vom Fraunhofer Institut entwickelte Technik „Spatial Sound Stage“ erweitert. Hier wird jeder Darsteller mit einem Tracking-System geortet und über entsprechende Lautsprecher in seiner Nähe auf der Bühne wiedergegeben. Für möglichst hohe Lokalisationsschärfe sind rund 70 Lautsprecher auf der Bühne installiert. Somit können die Zuschauer Sprache und Gesang Ortsstabil aus der Richtung hören, wo sich der Schauspieler gerade befindet.

Weitere Beispiele

Weitere Beispiele für den Einsatz der Wellenfeldsynthese ist die Diskothek Tresor in Berlin, ausgestattet mit einem IOSONO-System mit 600 Lautsprechern welche zusammen eine Dauerleistung von rund 50.000 W bringen.

Das Staatstheater Stuttgart, welches seit 2012 ein System des Schweizer Herstellers Sonic-Emotion mit 48 Lautsprechern im Einsatz hat.

Das Zapata in Stuttgart, eine kleine Disko, ausgestattet mit einem System von IOSONO, mit gerade mal 18 Lautsprechern. Jeder Lautsprecher der Firma d&b hat dabei einen 12" Speaker und ist für hohe Schalldrücke ausgelegt. Aufgrund des hohen Abstandes der Lautsprecher kann man hier nur begrenzt von den Vorzügen der Wellenfeldsynthese profitieren. Das Platzieren ortsstabiler virtueller Schallquellen im Raum ist kaum möglich, da eine korrekte Synthese des Schallfeldes aufgrund der viel zu geringen Spatial Aliasing Grenzfrequenz fehlschlägt.

Auch die Autoindustrie findet Interesse an der Wellenfeldsynthese. So hat die Firma Audi in eines ihrer Fahrzeuge 2010 in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut in Ilmenau ein Wellenfeldsynthesesystem installiert. Dieses Concept Car wurde mit 62 Lautsprechern in sehr geringem Abstand zueinander versehen. Zusätzlich wurden Lautsprecher für die Höhen- und Tiefenwiedergabe installiert (siehe Abbildung, gelbe und rote Punkte).

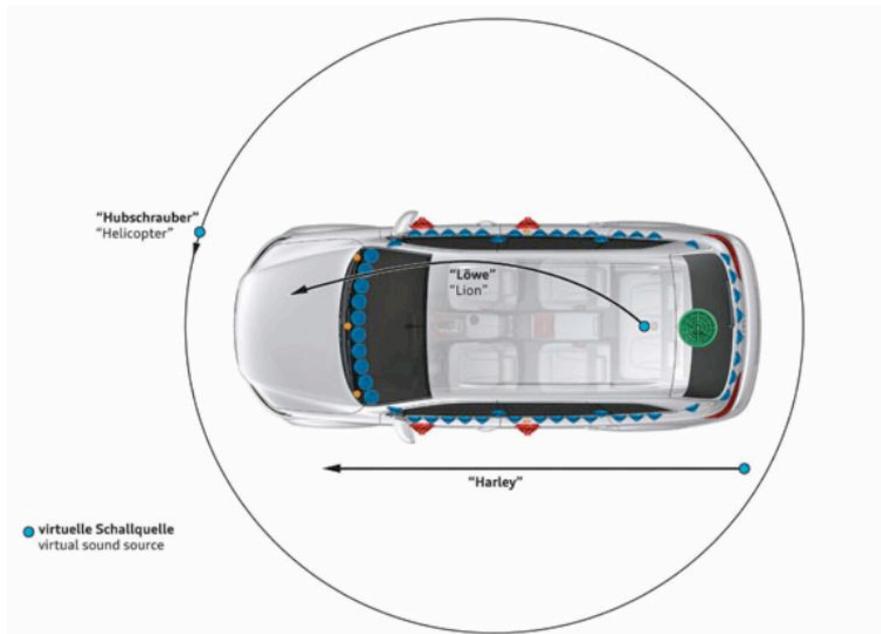


Abb.5: AUDI Q7, Concept Car mit integrierter Wellenfeldsynthese

Journalisten berichteten begeistert von den atemberaubenden Effekten wenn sich ein Löwe als virtuelle Schallquelle durch das Auto bewegte oder ein Hubschrauber um das Auto herum kreiste. Denkbar wäre auch ein Konzertgefühl wie in der Carnegie-Hall, in dem das Orchester um das Auto herum sitzt, in diesem Auto zu erleben.

Weitere Installationen finden sich in Themenparks wie Disney World, Kunstinstallationen wie auf der Fashion Week in Berlin 2012, Virtual Reality Anwendungen, wie dem Fraunhofer Institut für Bauphysik in Stuttgart, diversen großen Tonstudios und Kinosälen.

Vorteile der WFS

Der größte Vorteil der WFS ist sicherlich die exakte Lokalisierbarkeit der Schallquelle im gesamten Raum. Da das Schallfeld komplett synthetisiert wird, ist die Wiedergabe der Schallquelle völlig unabhängig von Phantomschallquellen und an jeder Position ortsstabil. So kann eine realistische, vom Standort des Hörers unabhängige Perspektive des akustischen Geschehens erzeugt werden (kein Sweet-Spot). Die Schallquelle kann nicht nur auf Lautsprecherebene, sondern auch zwischen Lautsprecher und Hörer positioniert werden, darüberhinaus ist der Raum bei richtiger Anwendung komplett austauschbar.



Nachteile der WFS

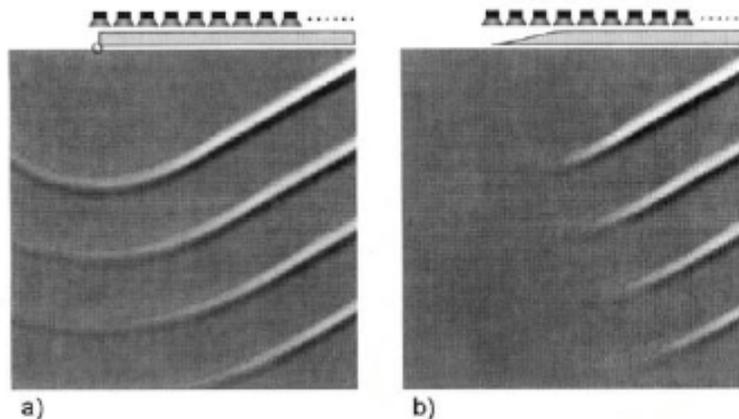
Natürlich treten durch die sehr komplexe technische Realisierung der WFS auch einige Probleme auf:

Aliasing

Da das Kirchhoff - Helmholtz Integral in der Theorie von einer unendlich großen Anzahl an Lautsprechern ausgeht, treten in der Praxis Aliasingeffekte auf. Die Aliasing-Grenzfrequenz liegt bei einem Lautsprecherabstand von 17cm bei ungefähr 1000Hz.

Truncation

Genau betrachtet strahlt jeder einzelne LS des Arrays eine Kugelwelle aus. Deshalb kommt es in den Raumecken zu Beugungseffekten, auch Truncation genannt. Man versucht diesem Phänomen entgegenzuwirken, indem man das Signal zu den äußeren Lautsprechern hin abschwächt. Folgendes Schaubild verdeutlicht den Sachverhalt:



Fokussierte Quellen

Mit Wellenfeldsynthese ist es (in Grenzen) möglich, eine virtuelle Quelle innerhalb der Hörzone, also vor dem Array, zu bilden. Diese Punktschallquellen vor dem Array werden als fokussierte Quellen bezeichnet. Die Überlagerung der Wellen erfolgt so, dass es an einem bestimmten Ort zu einer Drucküberhöhung kommt und sich eine virtuelle Quelle bildet. Fokussierte Quellen sind ebenfalls ortsstabil, zwischen dem Array und der Quelle ist eine korrekte Ortung jedoch nicht möglich. Aufgrund des Präzedenzeffektes wird nicht die virtuelle Quelle als Schallquelle identifiziert, sondern die Lautsprecher des Arrays.

Beschränkung auf die horizontale Ebene

Leider kann mit der Wellenfeldsynthese kein dreidimensionales akustisches Ereignis abgebildet werden. Installation nur eindimensional auf horizontaler Ebene, nur auf Höhe des Arrays wird das Wellenfeld korrekt wahrgenommen. Somit sind nur virtuelle Quellen auf Arrayhöhe möglich.

Das Kosten/Nutzen-Verhältnis bei der Erweiterung auf 2D ist nicht gerechtfertigt.

Übertragung flächiger Quellen

Auch bei flächigen Quellen wie z.B. einem großen Chor treten Probleme auf. Nicht jeder einzelne Sänger kann mit einem trockenen! Monosignal abgebildet werden. Außerdem ist die Anzahl der Übertragungskanäle proportional zur Anzahl der Schallquellen. Siehe hierzu auch „Gemischte Verfahren“.

Der **Hardwareaufwand und die Kosten** sind sehr hoch.



Gemischte Verfahren

VPS - Virtual Panning Spots

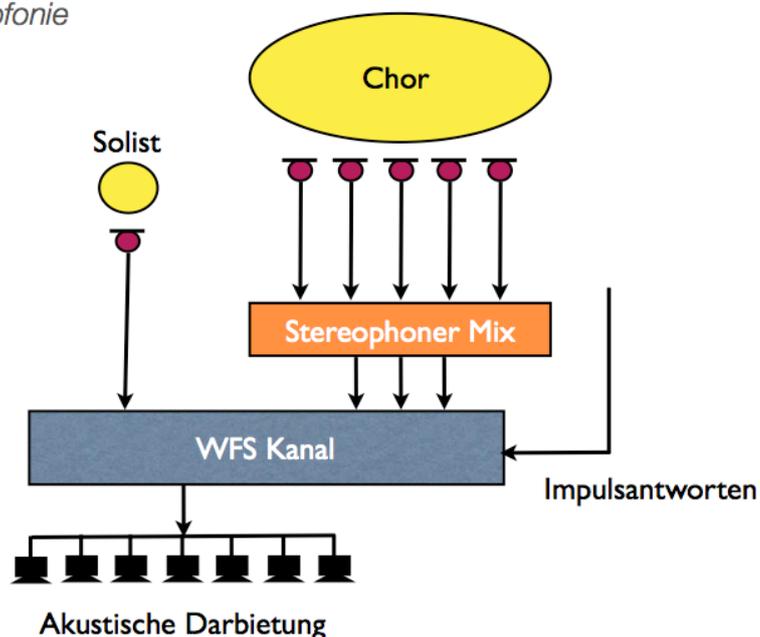
Virtual Panning Spots (VPS) entstehen durch die Kombination von Wellenfeldsynthese und herkömmlicher Zwei- oder Mehrkanalstereophonie.

Als Virtual Panning Spots bezeichnet man Virtuelle Lautsprecher (Punktschallquellen), die in einer virtuellen Darstellungsebene ein stereophones Klangbild erzeugen können. Durch VPS wird es möglich einen virtuellen Abhörraum zu schaffen.

Bsp. Chor:

50 Sänger/-innen werden mit fünf Mikrofonen abgenommen, in drei Übertragungskanäle gemischt und anschließend über drei Wiedergabekanäle ausgegeben (Herkömmliche L-C-R Stereophonie). Diese Wiedergabekanäle sind VPS, erzeugt mittels WFS. Zwischen den VPS entstehen die bekannten Phantomschallquellen, es sind alle 50 Sänger/-innen ausgedehnt hörbar. Ein Solist kann trocken aufgenommen werden und einzeln positioniert werden. Dasselbe Prinzip ist praktikabel bei Atmos oder anderen nicht Punktförmigen Quellen.

WFS + Stereophonie



Durch Virtual Panning Spots ergeben sich folgende Vorteile:

Eine simple Mikrofonierung und die gewohnte Handhabung in der Mischung und dem Umgang mit den Signalen.

Die gleiche Klangqualität bei wesentlich geringerem Kanalaufwand wie bei herkömmlicher Wellenfeldsynthese mittels Einzelquellen.

Die VPS sind ortsstabil und mittels Wellenfeldsynthese frei im Hörbereich positionierbar.

Die Abwärtskompatibilität der Wellenfeldsynthese zu Surround-Mehrkanalsystemen. VPS können die realen Lautsprecher im Kino oder Zuhause ersetzen, optimal im Raum positioniert werden und somit klassische Surroundsysteme reproduzieren.

Bei ausgedehnten Schallquellen entsteht im Gegensatz zu punktförmigen Schallquellen kein Sweet Spot, dadurch ist der Einsatz von VPS bei Anwendungen wie dem Chor oder Atmos problemlos.

Virtueller Kopfhörer - Binaural Sky

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist der Binaural Sky. Hier wird ein Lautsprecherring über dem Kopf des Hörers installiert, welcher mittels der Wellenfeldsynthese einen virtuellen Kopfhörer synthetisiert. Die virtuellen Punktschallquellen befinden sich dabei in unmittelbarer Nähe zum Ohr. Tiefe Frequenzen werden über einen extra Subwoofer wiedergegeben.

Der Abhörraum wird mit Hilfe eines Kunstkopfes vermessen, so dass man seine binaurale Raumimpulsantwort errechnen kann. Mittels der ermittelten Werte können sog. Ohrsignale generiert werden, welche es zulassen einen virtuellen Abhörraum zu synthetisieren.

Über ein Headtracking-System und die Erstellung einer Datenbank, in der im 1° Raster eine volle Kopfdrehung in dem entsprechenden Raum vermessen und gespeichert wurde (d.h. es wurden mittels des Kunstkopfes in 1° Abständen Raumimpulsantworten gemessen), kann verhindert werden, dass sich der virtuelle Raum bei Kopfdrehungen mit dreht. Ein Überschneiden zwischen den beiden Schallquellen wird durch eine Überschneidungskompensation verhindert.

Mittels Binaural-Sky lassen sich verschiedenste Abhörsituationen simulieren. Beispielsweise lassen sich die gewohnten Höreigenschaften eines (großen) Studios in einen kleinen Übertragungswagen transportieren. Es versetzt Hörer in virtuelle akustische Umgebungen ohne in eine große Hörzone, welche auch viel Raum in Anspruch nimmt, investieren zu müssen. Praktikabel ist dieses System auch für Virtual Reality oder Computerspiel - Anwendungen.

Literaturverzeichnis

Dickreiter, Michael – Handbuch der Tonstudioteknik, 2008

Webers, Johannes - Handbuch der Tonstudioteknik: Analoges und digitales Audio Recording bei Fernsehen, Film und Rundfunk, 2007

Webers, Johannes - Die Technik der audiovisuellen Medien, eBook

www.sengpielaudio.com

<http://www.ifaa-akustik.de/files/TMT-2008-Goertz-Makarski-Weinzierl-Moldrzyk.pdf>

http://www.eti.hfm-detmold.de/institut/copy_of_ausstattung

<http://www.syntheticwave.de/WFS-Holofonie.htm>