

G. THEILE, H. WITTEK, M. REISINGER

Wellenfeldsynthese

Neue Möglichkeiten der räumlichen Tonaufnahme und -wiedergabe

Die Wellenfeldsynthese (WFS), schon seit einigen Jahren Thema auf Tagungen der Toningenieure, wird im Beitrag tiefgreifend vorgestellt. Die Probleme der Darstellung stereophoner Schallquellen und Integration unterschiedlicher Signal- und Testkonfigurationen gibt einen umfassenden Ein- und Überblick über das Tonaufnahme- und Wiedergabeverfahren. Der Beitrag ist auf zwei Teile angelegt.



Günther Theile



Helmut Wittek



Michael Reisinger

Dr.-Ing. Günther Theile ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Rundfunktechnik und dort Leiter des Arbeitsbereichs Audiosystemtechnik.

Dipl.-Ing. Helmut Wittek ist seit 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IRT im Tätigkeitsbereich Carrouso (Wellenfeldsynthese) und PhD-Student der 'University of Surrey' bei Prof. Francis Rumsey.

Dipl.-Ing. Markus Reisinger ist freiberuflicher Toningenieur im Bereich Musik- und Postproduktion.

Vortrag auf der 22. Tonmeistertagung, 22.-25.11.2002 in Hannover. (www.tonmeister.de/tmt/2002/information.html)

1. Einleitung

Eine neue Generation der Tonaufnahme- und Wiedergabeverfahren basiert auf dem Konzept der Wellenfeldsynthese (WFS). Trocken aufgenommene Schallquellen werden zusammen mit einer separaten Szenenbeschreibung übertragen und daraus mit Hilfe von Lautsprecher-Arrays das gewünschte Schallfeld hergestellt. Damit wird eine physikalisch korrekte Darstellung des Schallereignisses hinsichtlich Ort, Ausrichtung, Bewegung, räumlicher Umgebung möglich. So genannte 'Virtual Panning Spots' (VPS) haben die Aufgabe, die Wiedergabequalität von ausgedehnten Quellen (zum Beispiel bei einem Chor) und einhüllendem Schall (Atmo) zu optimieren, die Zahl der Übertragungskanäle zu vermindern, sowie Abwärtskompatibilität und Skalierbarkeit zu gewährleisten. In Kombination mit konventionellen oder neuartigen stereophonen Mischtechniken ergeben sich erweiterte Möglichkeiten für die räumliche Tongestaltung, insbesondere hinsichtlich der Entfernungsdarstellung. Zur Gewährleistung der Kompatibilität mit Lautsprecherstereophonie-Formaten wird eine spezielle wiedergabeseitige Voreinstellung der VPS vorgeschlagen, die die Wiedergabe von konventionellen Mehrkanal-Aufnahmen in einem virtuellen Abhörraum erlaubt. Diese rein wiedergabeseitige Anwendung der Wellenfeldsynthese für Mehrkanal-Stereophonie könnte aus technischer und praktischer Sicht schon in naher Zukunft zum ersten Markterfolg der Wellenfeldsynthese führen. Verfahren der WFS-Übertragung werden wohl erst später folgen.

2. Prinzipien der räumlichen Übertragung

Für die Darstellung der räumlichen Eigenschaften von Schallereignissen gibt es drei grundsätzlich unterschiedliche Methoden:

- Lautsprecher-Stereophonie,
- Reproduktion der Ohrsignale und
- Synthese des umgebenden Schallfelds.

Alle bekannten räumlichen Tonübertragungsverfahren lassen sich darauf zurückführen oder stellen Mischformen dar, wobei bestimmte Vorteile der Methoden abhängig vom praktischen Anwendungsbereich genutzt bzw. ihre Nachteile umgangen werden sollen.

2.1. Lautsprecher-Stereophonie

Die Lautsprecher-Stereophonie beruht im Prinzip auf den Gesetzmäßigkeiten der Lokalisation im überlagerten Schallfeld von zwei Lautsprechern [1]. Die Richtungsdarstellung erfolgt in der Abbildungsebene zwischen benachbarten Lautsprechern. Die Wahrnehmung des natürlichen Raumeindrucks und der räumlichen Tiefe ist mit der einfachen 2/0-Stereophonie nicht erreichbar, sondern nur eine Darstellung der räumlichen Perspektive, ähnlich der perspektivischen Darstellung in einem flächigen Bild [2]. Bei 3/2-Stereophonie kann mit Hilfe der Surround-Kanäle die Abbildungsebene zwischen den vorderen Lautsprechern verlassen werden (**Bild 1**). Daraus ergeben sich Möglichkeiten für die Reproduktion des frühen Seitenschalls zur Darstellung der räumlichen Tiefe sowie des Nachhalls zur Darstellung des Raumeindrucks und der Umhüllung. Einzelheiten dazu sind in [3] beschrieben.

Eine besondere Einschränkung zeigt sich für die Darstellung der akustischen Nähe. Wie im Fall der konventionellen Stereophonie ist es normalerweise nicht möglich, im Bereich zwischen dem Hörer und den Lautsprechern Hörereignisse zu lokalisieren. Die Entfernung einer Phantom-

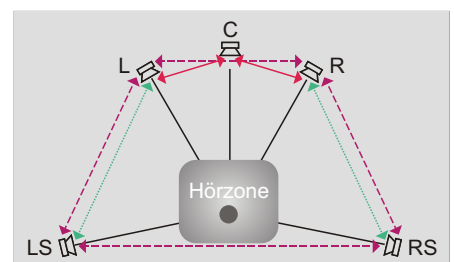


Bild 1. Lautsprecherstereophonie (Beispiel 2/3-Format)

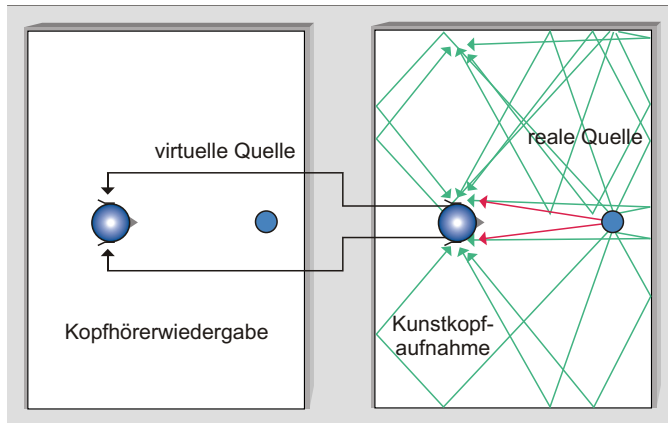


Bild 2.
Kunstkopfstereophonie

Fällen unpraktikabel. Zudem stellt ein gelungenes Klangbild für die Kopfhörerwiedergabe immer eine Abbildung eines Hörerplatzes im Aufnahme-raum dar und ist nicht optimal für „wohnzimmergerechte“ Lautsprecherwiedergabe (mangelnde künstlerische Kompatibilität).

2.3. Synthese des umgebenden Schallfeldes

Der dritte Ansatz wird in jüngster Zeit im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts CARROUSO^{*)} verfolgt. Er basiert auf dem Konzept der Wellenfeldsynthese (entwickelt an der TU Delft, siehe zum Beispiel [6,7]), das heißt die Darstellung einer virtuellen Quelle und eines virtuellen Raumes wird mit Hilfe eines akustisch korrekten Schallfeldes erreicht. Das Prinzip der Wellenfeldsynthese beruht darauf, dass mit Hilfe von Lautsprecherarrays ein komplettes Schallfeld in der Hörzone generiert wird, das mit einem entsprechenden realen Schallereignis identisch ist. Dieses akustische Gegenstück zur optischen Holographie wird auch als „Holophonie“ bezeichnet. Die für das Hörereignis wirksamen Ohrsignale entstehen also im Gegensatz zur Kunstkopfstereophonie auf natürlichem Wege im Schallfeld (s. Kap. 3).

3. Prinzip der Wellenfeldsynthese

3.1. Huygens'sches Prinzip

„Wenn von einem Punkt 'S' eines homogen isotropen Mediums eine Kugelwelle ausgeht, so kann man sich den Vorgang der Wellenfortpflanzung im Einzelnen so vorstellen, dass ein durch äußere Kräfte in Schwingungen versetztes Teil-

*) EU-Project IST-1999-20993 (1. Jan. 2001 - 30. Juni 2003): Creating, Assessing and Rendering in Real Time of High Quality Audio-Visual Environments in MPEG-4 Context.

schallquelle zum Hörer kann nicht kleiner sein als die der beteiligten Lautsprecher [1]. Aus diesem Grunde gibt es auch Probleme bei der Aufnahme einer „nahen“ akustischen Umgebung (Beispiel: Applaus im Konzertsaal). Eine realitätsnahe Einhüllung des Hörers ist oft schwierig und gelingt selten so überzeugend wie es zum Beispiel mit Hilfe der Kunstkopfstereophonie möglich ist.

Ein weiterer Nachteil der Lautsprecherstereophonie betrifft die stark begrenzte Hörzone, die sich einerseits aus der geringen Richtungsstabilität der Phantom-schallquelle ergibt, andererseits aus der stark platzabhängigen Lautstärkebalance der Wiedergabekanäle. Die geringe Stabilität der Richtungsabbildung ist auf die platzabhängigen Laufzeitverschiebungen zurückzuführen. Verschiebungen der Lautstärkebalance machen sich für die Surround-Kanäle besonders leicht bemerkbar, wenn das Pegelverhältnis direkter/indirekter Schall betroffen ist. Dieses Problem lässt sich reduzieren, indem man die Entfernung der Lautsprecher zum Hörer vergrößert.

2.2. Reproduktion der Ohrsignale

Die ursprüngliche Ausführung dieser Methode ist die bekannte Kunstkopfstereophonie. Es wird nicht versucht, ein geeignetes Schallfeld am Wiedergabeort zu reproduzieren. Vielmehr werden mit Hilfe eines Kunstkopfes die im Aufnahme-raum wirksamen Ohrsignale aufgenommen und — im Prinzip per Kopfhörer — wiedergegeben (**Bild 2**). Im Idealfall sind die reproduzierten Kunstkopfsignale identisch mit den Ohrsignalen, die der Hörer im Aufnahme-raum empfangen würde. Dementsprechend korrespondiert das (virtuelle) Hörereignis im Wiedergaberaum unverfälscht mit dem (realen) Schallereignis im Ursprungsraum.

Für den praktischen Einsatz gibt es für diese Technik gravierende Einschränkungen. — Die Reproduktion der Ohrsignale muss sehr genau erfolgen, Unterschiede des individuellen Außenoh-

res zum Kunstkopf-Außenohr verursachen bereits Beeinträchtigungen. Auch wirken Eingriffe wie Dynamikeinengung, Lautstärkeeinstellung und Störgeräusche bei der Wiedergabe nachteilig.

- Die Reproduktion der Ohrsignale muss im Prinzip über Kopfhörer erfolgen. So genannte Transauralisationsverfahren, die für die Lautsprecherwiedergabe vorher eine inverse Filterung der Außenohrübertragungsfunktion durchführen, sind nicht genau genug und schränken die Hörzone auf wenige Zentimeter ein.
- Neuere Untersuchungen haben nachgewiesen, dass die Ohrsignale sogar an die momentane Kopfhaltung des Hörers angepasst werden müssen. Die dynamischen Ohrsignalmerkmale hatten bei Auswertung durch das Gehör eine bisher unterschätzte Bedeutung, insbesondere für die korrekte Lokalisation in der Medianebene [4].
- Eine künstlerische Gestaltung des Klangbilds ist nur in sehr engem Rahmen möglich. Das gilt für die klangliche und räumliche Balance der Instrumente ebenso wie für die Darstellung des Raums und der einhüllenden Atmosphäre. Die Abhängigkeit von den Gegebenheiten der Aufführung sind extrem groß und in den meisten

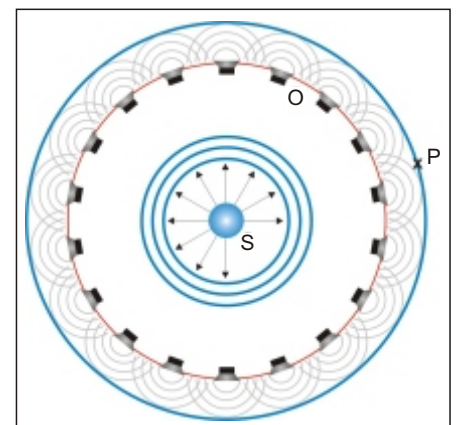
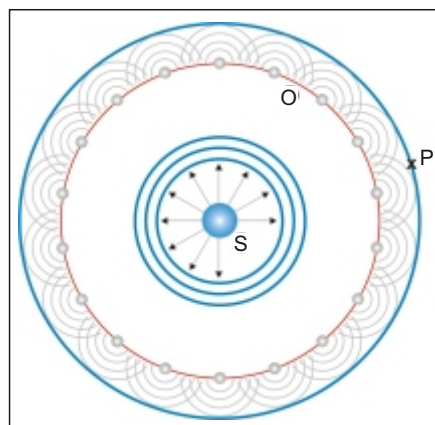


Bild 3. Huygens'sches Prinzip — a (links): theoretisches Modell; b (rechts): Anwendung WFS

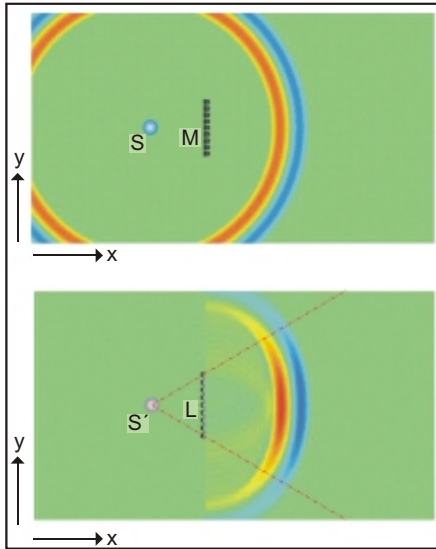
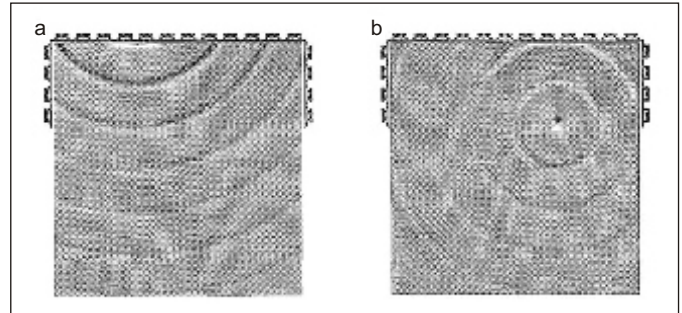


Bild 4 (links). Prinzip der Wellenfeldsynthese
a (oben): Wellenfront
b (unten) synthetisierte Wellenfront
Bild 5 (rechts).
Wellenfronten von virtuellen Quellen [10]
a) hinter, b) vor dem Array



der (rot gestrichelten) Hörzone die synthetisierte Wellenfront. Der Hörer nimmt an jedem Ort der Hörzone eine virtuelle Schallquelle 'S' wahr, er kann sich dort frei bewegen, während die virtuelle Schallquelle korrekt lokalisierbar bleibt [6, 10, 11].

chen diese seine Bewegung auf seine Nachbarteilchen überträgt. Dieser Vorgang setzt sich dann nach allen Seiten symmetrisch fort und gibt so Anlass zur Entstehung einer Kugelwelle...“[8]. Strahlt eine Schallquelle 'S' (die so genannte „primäre Quelle“) kugelförmige Wellenfronten ab, so kann man sich nach dem Huygens'schen Prinzip jede abgestrahlte Wellenfront (**Bild 3a blau**), durch die Addition aller beteiligten „sekundären Quellen“ (die ebenso Kugelwellen ausstrahlen) auf der Fläche 'O' vorstellen. Durch Kenntnis der Wellenfront auf der Fläche 'O' (**Bild 3a rot**) lässt sich der Schwingungszustand in einem beliebigen Punkt 'P' des Schallfelds bestimmen, ebenso durch Summierung aller beteiligten Sekundärquellen die Wellenfront durch den Punkt 'P'.

Bei der Wellenfeldsynthese ersetzt man im Prinzip die einzelnen Punktquellen durch Lautsprecher und erzeugt so wieder eine Kugelwelle. Die Schallquelle 'S' ist virtuell, der Hörer im Punkt 'P' empfängt die gleiche Wellenfront an, die die Schallquelle 'S' aussenden würde.

3.2. WFS – Anwendung des Huygens'schen Prinzips

Das Huygens'sche Prinzip gilt sinngemäß für eine ringförmige Anordnung der Lautsprecher in einer zweidimensionalen Ebene. Betrachtet man eine Schallquelle 'S', die einen Sinuston abstrahlt und sich in einer unendlich großen Ebene ohne Begrenzung durch Wände befindet, so ergibt sich eine Wellenfront gemäß **Bild 4a**, dargestellt als rote und blaue Kreise. Platziert man nun ein Array aus $n \times$ Mikrofonen (M) in dieses primäre Schallfeld und gibt die aufgenommenen Mikrophonsignale über ein ebenso angeordnetes Array aus $n \times$ Lautsprechern (L) in einem Wiedergaberaum wieder (**Bild 4b**), so erhält man in

3.3. Spezielle Eigenschaften der WFS

3.3.1. Virtuelle Schallquellen vor dem Lautsprecherarray

Bild 5 zeigt als Simulation den Wellenverlauf einer Punktschallquelle hinter dem Array (a) und vor dem Array (b). Die Schallquelle hinter dem Array bildet in der Hörzone konkave Wellen aus, somit ist sie überall im Wiedergaberaum eindeutig reproduzierbar und lokalisierbar. Hingegen bildet die Schallquelle vor dem Array — aus Sicht des Arrays — konvexe und konkave Wellen aus. Die Fläche mit den konvexen Wellen ist nicht reproduzierbar, also wird die Hörzone um diese Fläche beschränkt. Für die praktische Anwendung ist die Tatsache, dass virtuelle Schallquellen im Bereich zwischen dem Hörer und den Lautsprechern erzeugt werden können, ein enormer Fortschritt. Dem Tonmeister können damit völlig neuartige Werkzeuge für die räumliche Tongestaltung in die Hand gegeben werden (s. Kap. 4).

3.3.2. Konzept der Aufnahme und Wiedergabe

Für den Einsatz der Wellenfeldsynthese als Verfahren zur räumlichen Ton-

übertragung haben bestimmte Systemeigenschaften eine wichtige Bedeutung. Die **Bilder 6 und 7** zeigen das grundlegende Konzept. Im Unterschied zum Prinzip des akustischen Vorhangs werden nicht die einzelnen Signale des Mikrophonarrays übertragen, sondern die (trocken aufgenommenen) Signale der Schallquelle. Die Eigenschaften des Raums werden mit Hilfe spezieller Mikrophonarrays gemessen. Das geschieht über die Messungen der Raumimpulsantwort, die vor oder nach der Aufnahme durchgeführt werden können. Die „Gestalt“ der Schallquelle wird also getrennt von der räumlichen Situation übertragen. Wiedergabeseitig wird diese Trennung im 'wave field synthesiser' durch einen mathematischen Prozess rückgängig gemacht. Das „trockene“ Quellensignal wird mit der vorliegenden Impulsantwort gefaltet (FIR-Filterung) und den Lautsprecherkanälen nach Summation zugeführt. Die Schallquelle erhält also ihre räumlichen Eigenschaften, gegeben durch ihren Ort — frühe Reflexionen und Nachhall — zurück.

Das funktioniert aber nur, wenn die Position des zur Messung verwendeten Mikrophonarrays und die Anzahl der Mikrophonkanäle auch mit dem für die Wiedergabe gewünschten Lautsprecherarrays übereinstimmen. In der Praxis könnte die Voraussetzung natürlich nicht eingehalten werden, denn im Wiedergaberaum des Hörers sollten beliebige Arrays eingesetzt werden können. Daher müssen die Impulsantworten mit Hilfe der so genann-

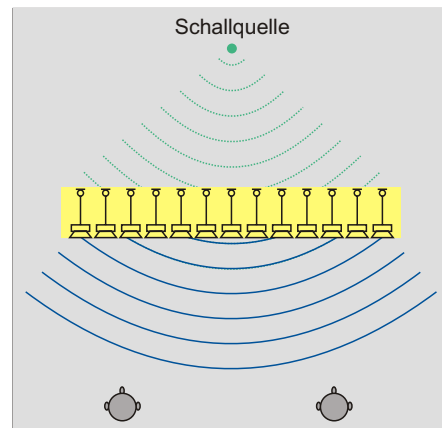


Bild 6. Akustischer Vorhang

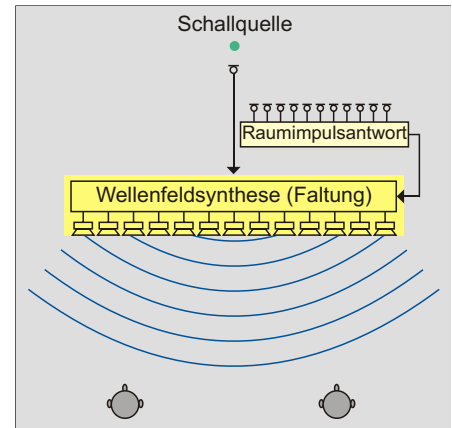
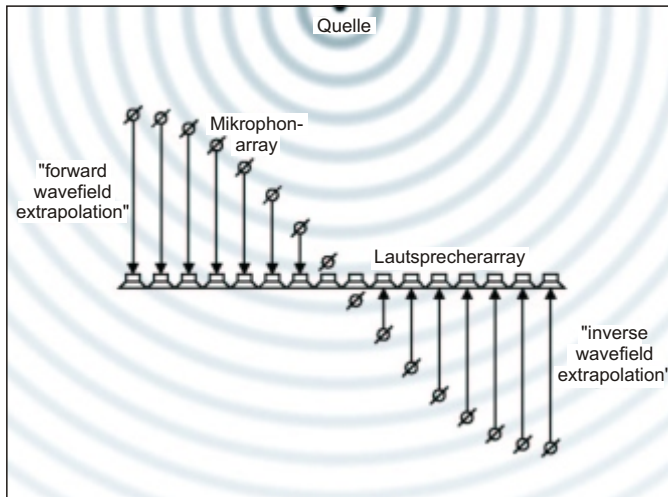


Bild 7. Wellenfeldsynthese



ten Extrapolation (s. Kap. 3.3.3) an die Eigenschaften des eingesetzten Lautsprecherarrays angepasst werden.

Die Raumimpulsantworten können auch nach Maßgabe eines raumakustischen Modells berechnet werden. Im Gegensatz zum datenbasierten Verfahren, das die Reproduktion der Original-Raumakustik erlaubt, erzeugen die modellbasierten Verfahren mit berechneten Raumimpulsantworten synthetische Räume. Im wiedergabeseitigen WFS-Prozessor können die gemessenen und gerechneten Impulsantworten als Datensätze gespeichert vorliegen und eingesetzt werden.

3.3.3. Wellenfeld-Extrapolation

Die Umrechnung der Mikrofonpositionen auf jedes beliebige Lautsprecherarray nennt man Extrapolation. Das Schallfeld kann an jeder Position (x- und y-Koordinaten) auf der Basis der Impulsantworten berechnet werden. Eine gemessene Impulsantwort wird dementsprechend von den Koordinaten des Mikrophons auf die Koordinaten des anzusteuern Lautsprechers umgerechnet. Wellenfeld-Extrapolation kann vorwärts ('forward wavefield extrapolation', weiter von den Quellen und Reflexionen weg) und rückwärts ('inverse wavefield extrapolation', näher an die Quellen und Reflexionen heran) ausgeführt werden (**Bild 8**).



Bild 10. Lineares Zweiweg-Array (IRT)

Für den Fall, dass die Mikrofonarrays mit den Lautsprecherarrays von der Position her übereinstimmen, jedoch in der Kanalanzahl differieren, muss zwischen den Mikrofonen geeignet interpoliert werden. Auch die Interpolation beruht auf den mathematischen Verfahren zur Extrapolation [12]. — Aus praktischen Gründen werden vorzugsweise nur die frühen Reflexionen der Impulsantwort ($20 \text{ ms} < t < 50 \text{ ms}$) berücksichtigt. Die Länge der zu extrapolierenden Impulsantwort differiert natürlich abhängig von der Raumgröße. Der nachfolgende Nachhall ist nicht für die Wahrnehmung der Schallquellenentfernung und Raumgröße relevant und kann deshalb unberücksichtigt bleiben [13].

3.3.4. Ebene Wellen für die Nachhall-Synthese

Der Nachhall schließlich sollte möglichst diffus wiedergegeben werden. Nachhall kann als Summation unkorrelierter ebener Wellen, aus allen Raumrichtungen kommend, aufgefasst werden. Bei der Reproduktion mittels WFS lässt sich der Nachhall in einfacher Weise mit ebenen Wellen erzeugen. Eine ebene Welle entsteht durch geeignete Verzögerung der einzelnen Lautsprecherarray-Signale. Der einfachste Fall, für den keine Berechnung notwendig ist: eine ebene Welle parallel zu einem linearen Array. Hier werden alle

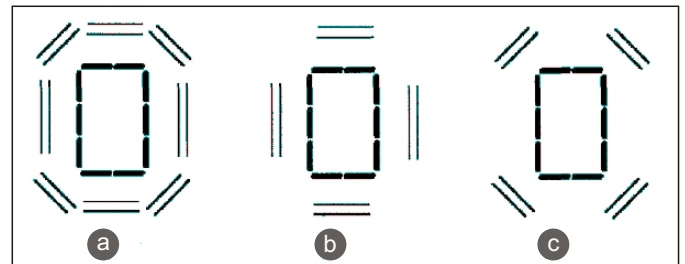


Bild 9. Modelle ebener Wellen für die Nachhall-Synthese

Bild 8 (links). Wellenfeld-Extrapolation, forward - invers [12]

Lautsprecher mit dem monophonen Nachhall gleichzeitig angesteuert. Versuche an der TU Delft [14] haben ergeben, dass bereits vier ebene Wellen, die parallel zu den Lautsprecherarrays abgestrahlt werden, ausreichen, um einen als subjektiv diffus empfundenen Nachhall zu erzeugen. Mit heute üblichen Hallgeräten lassen sich unkorrelierte Nachhallfahnen mit mindestens vier Kanälen herstellen, die dann als ebene Wellen über das Lautsprecherarray synthetisiert werden. Dafür denkbar sind verschiedene Modelle (**Bild 9**), jedoch wird in der Praxis für 360° -Linear-Arrays die Option (c) bevorzugt [15].

3.3.5. Ausführungsformen der Lautsprecherarrays

Das lineare Array (**Bild 10**) ist die einfachste Form. Am IRT besteht dieses Lautsprecherarray aus 18 Lautsprecherboxen. Die Mitteltöner haben jeweils einen Abstand von 12 cm zueinander und die Hochtöner einen Abstand von 4 cm. Die Hochtöner sind einzeln ansteuerbar. Daher besteht die Möglichkeit, die Aliasfrequenz zu erhöhen, mit 4 cm Lautsprecherabstand liegt sie bei etwa 4,2 kHz [16]. Innerhalb dieses Mehrwege-Lautsprecherarrays gibt es keine Frequenzweichen und Anpassung an die verwendeten Lautsprecher, daher kann die Filterung im Impulsantwort-Kompensationsfilters oder Extrapolations-Filter durchgeführt werden.

Das 360° -Linear-Array (**Bild 11**) ist die Erweiterung des einfachen linearen Arrays. Hier wird die Hörzone von vier linearen Arrays umspannt. Mit dem Array ist eine vollständige 2D-Wellenfeldsynthese zu

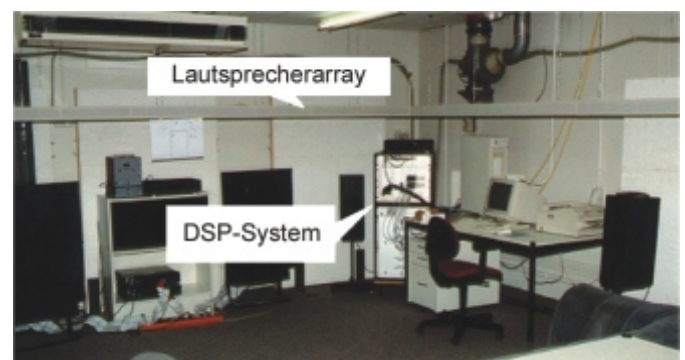


Bild 11. 360° -Linear-Array (TU Delft) [11]

erreichen [17]. Ein erstes Labormodell an der TU Delft besteht aus einer Vielzahl einfacher Breitband-Einwegsystemen, deren Wiedergabequalität unter Verwendung eines Impulsantwort-Kompensationsfilters entscheidend optimiert werden konnte.

Das Kreisarray (Bild 12) wurde am IRT entwickelt und besteht aus 32 Lautsprechern, die auf einem Aluminiumkreis (Durchmesser 2 m), mit einem gegenseitigen Abstand von 17 cm angebracht sind (resultierende Aliasing-Frequenz 1000 Hz). Die einzelnen Lautsprecher sind Zweiwegsysteme, die oberhalb etwa 100 Hz gute Eigenschaften aufweisen. Für die Basswiedergabe unterhalb 100 Hz wird ein Subwoofer betrieben. Der Sinn dieses Kreisarrays besteht darin, die Akustik des Wiedergaberaums möglichst weitgehend zu unterdrücken sowie Eckeffekte zu vermeiden, die an den Enden der Linien-Arrays auftreten.

Eine völlig neue Technik stellen die MAPs (Multi Actuator Panels) dar. Die Schallabstrahlung beruht bei diesen akustischen Wandlern auf der Anregung von Biegeschwingungen auf einem flachen, harten und leichtem Panelmaterial, mittels spezieller elektrodynamischer Wandler, so genannter Exciter [18]. Pro Kanal wird bei einem relativ geringen Aufwand (zurzeit ab etwa 120 Hz) eine verzerrungsarme Wiedergabe möglich. Ein solches Panel ist leicht an der Wand zu montieren, wobei Größe und Form weitgehend variabel sind, beispielsweise auch als Projektionsfläche für das Bild dienen kann. Somit lassen sich MAPs gut in einen Wohnraum integrieren. Bei der Anwendung für die Wellenfeldsyn-

these kommt der Effekt zum Tragen, dass die erste Wellenfront sehr exakt reproduziert wird, ehe die Abstrahlung diffus wird. Die Abstrahlcharakteristik kommt denen eines Punktstrahlers in einem weiten Frequenzbereich sehr nahe, insbesondere wenn man die abstrahlende Fläche groß genug wählt, um Randeckeffekte zu vermeiden. Untersuchungen der TU Delft zeigen, dass MAPs ausgezeichnet für die Wiedergabe von WFS geeignet sind [19].

3.3.6. Erforderliche Übertragungskapazität

Das Konzept der Wellenfeldsynthese hat im Vergleich mit allen anderen Übertragungsverfahren eine Besonderheit: Die erforderliche Zahl der Übertragungskanäle ist nicht unabhängig von der Anzahl der zu übertragenden Schallquellen, vielmehr steigt sie im Prinzip proportional mit der Anzahl der zu übertragenden Schallquellen an (sieht man hier von der notwendigen Übertragung der Rauminformationen ab). Bei den Stereophonie-Verfahren (Kunstkopf- und Lautsprecher) als auch beim Konzept des akustischen Vorhangs steigt die Übertragungsqualität mit der Anzahl der Kanäle (Bild 13a). Das ist bei WFS nicht der Fall (Bild 13b) (s. a. Bilder 6 und 7).

Für den erfolgreichen Einsatz der Wellenfeldsynthese müssen in der Mehrzahl der Anwendungsfelder, insbesondere beim Rundfunk, sicherlich Methoden gefunden werden, welche die Zahl der erforderlichen Übertragungskanäle begrenzen, ohne dabei gleichzeitig die Qualität zu beeinträchtigen.

3.3.7. Übertragung ausgedehnter Schallquellen und der Atmo

Am Beispiel der Übertragung eines Chors wird darüber hinaus deutlich, dass das Konzept der getrennten Übertragung von „Gestalt“ und „Raum“ in der Praxis große Probleme bereiten kann. Die Qualität der Aufnahme würde im Vergleich zu einer stereophonen Aufnahme nicht wachsen, wenn die Zahl der Stützmikrophone (das heißt die Zahl der zu übertragenden „trockenen“ monophonen Quellensignale der Chormitglieder oder Chorgruppen) beliebig gesteigert werden könnte. Sie wäre wahrscheinlich selbst dann nicht optimal, wenn jedes Chormitglied ein eigenes Stützmikrofon bekäme (wovon die Theorie ausgeht). Hinzu kommt, dass für jedes der Stützmikrophone die Raumimpulsantworten gemessen und diese Datensätze übertragen werden müssten. Auf der Wiedergabeseite müssen entsprechend viele der rechenintensiven Faltungsoperationen durchgeführt werden.

Aber nicht nur der Chor stellt einen ausgedehnten Klangkörper dar. Ebenso anspruchsvoll ist beispielsweise die Übertragung eines Klaviers im Konzertsaal. Kein Tonmeister würde auf die Idee kommen, das Klavier mit einem einzigen monophonen Mikrophon aufzunehmen. Auch ein Klavierklang setzt sich aus vielen räumlich verteilten Klangelementen zusammen, ein Klavier ist keine punktförmige Schallquelle. Die reine Lehre der Wellenfeldsynthese wird dieser Aufgabe nicht gerecht werden können.

Ein ähnliches Problem besteht für die Übertragung der Atmo, beispielsweise Applaus im Konzertsaal. Hunderte von Einzelschallquellen, die im ganzen Raum fern und nah verteilt sind, formen das Hörereignis „Applaus“. Allein die Kunstkopftechnik könnte eine realitätsgetreue Übertragung gewährleisten. Aber wie könnte das einfache Konzept der Aufnahme trockener Einzelschallquellen das leisten?

Naheliegender ist es, die Horizontalebene in Sektoren einzuteilen und jedem dieser Sektoren einen Übertragungskanal zuzuordnen, wobei die Aufnahmetechnik jeweils einen Sektor erfasst. Jedoch lässt sich leicht vermuten, dass gegenüber der stereophonen Technik diese „Quantisierung des Raumes“ einen Rückschritt darstellen würde. Im anschließenden Kapitel, das in der nächsten Ausgabe der FKT veröffentlicht wird, wird aber gezeigt, dass sich vorteilhafte Eigenschaften der Lautsprecher-Stereophonie für Anwendungen der Wellenfeldsynthese sinnvoll und praxisgerecht nutzen lassen.

(Fortsetzung folgt)



Bild 12. Kreisarray (IRT)

Bild 13 (unten). Prinzipieller Vergleich der erforderlichen Übertragungskapazitäten

