

Wellenfeldsynthese

Von Dipl.-Ing. Günther Konecny

Bei der Ton-Wiedergabe in Räumen nach den bisher angewandten Verfahren ist eine gute Klangqualität meist nur auf einige wenige Plätze beschränkt. Der als „Sweet Point“ bezeichnete Bereich optimalen Hörens im Wiedergaberaum ist leider nur sehr klein, manchmal auf eine einzige Person beschränkt. Dies ändert sich durch die Wellenfeldsynthese grundlegend.

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

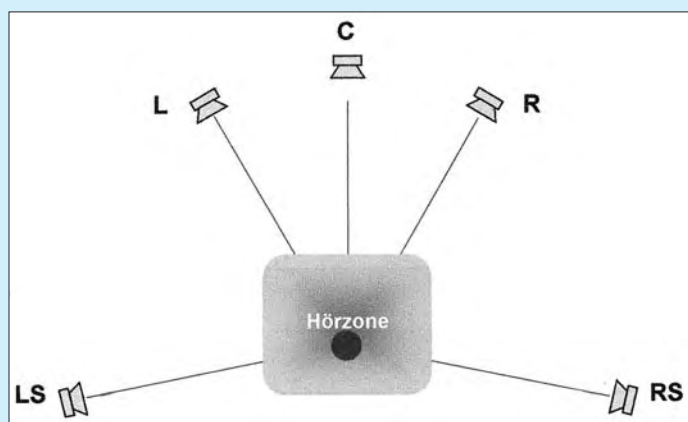
- Lautsprecher-Stereophonie
- Kunstkopf-Stereophonie, wobei die Ohrsignale reproduziert werden
- Synthese des umgebenden Schallfeldes (Wellenfeldsynthese).

Bei der **Lautsprecher-Stereophonie** erfolgt die Abbildung der ursprünglichen Schallquelle auf einer Linie zwischen den beiden Lautsprechern. Eine Wahrnehmung der räumlichen Tiefe ist bei der einfachen 2/0-Stereophonie nicht erreichbar. Einen Fortschritt stellt die 3/2-Surround-Stereophonie dar, bei der nicht nur Front-, sondern auch rückwärtige Lautsprecher eingesetzt werden. Mit Hilfe der Surround-Kanäle kann durch die Reproduktion des frühen Seitenschalls die räumliche Tiefe und durch die Reproduktion

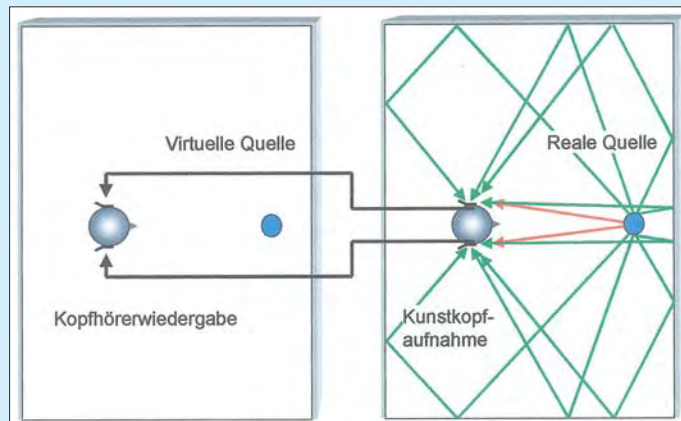
des Nachhalls der Raumeindruck vermittelt werden.

Der Riesennachteil der herkömmlichen Lautsprecherstereophonie liegt aber in der schon oben erwähnten begrenzten Hörzone und in der geringen Richtungsstabilität der abgebildeten Phantomschallquelle.

Bei der **Kunstkopf-Stereophonie** werden mit einem Kunstkopf die am Originalort gegebenen Ohrsignale aufgezeichnet und bei der Wiedergabe in den Kopfhörern reproduziert. Im Idealfall sind die reproduzierten Kunstkopfsignale identisch mit den Ohrsignalen, die der Hörer am Aufnahmeort wahrnehmen würde. Virtuelles Hörereignis und reales Ursprungsereignis korrespondieren in diesem Falle. Grau, oh Freund, ist jedoch alle Theorie. Denn Unterschiede des individuellen Außenohres des Hörers zu jenem des Kunstkopfes führen bereits zu beachtlichen Beeinträchtigungen



3/2-Surround-Stereophonie



Wiedergabe über Kopfhörer

Aufnahme mit Kunstkopf
Kunstkopf-Stereophonie

des Hörbildes. Darüber hinaus stellt ein so abgebildetes Klangbild immer nur eine Abbildung eines ganz bestimmten Platzes im Aufnahmeort dar.

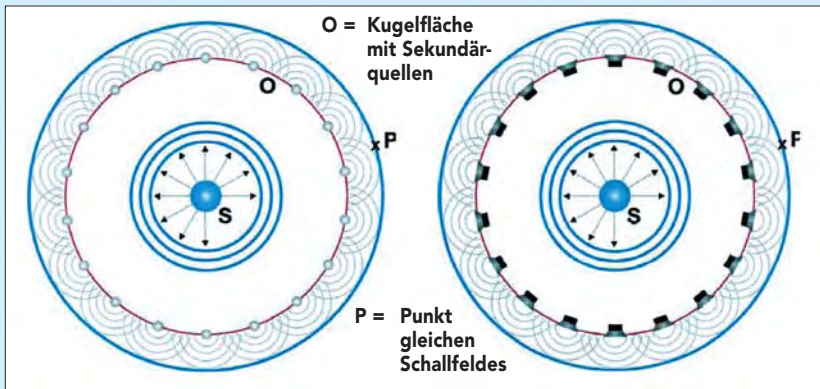
Die derzeit intensiv erforschte Wiedergabe, die sich auf die **Wellenfeldsynthese** stützt, geht hier einen ganz neuen Weg. Die Theorie der Wellenfeldsynthese wurde schon 1988 von A.J. Berkhout an der Technischen Universität Delft entwickelt. Dabei erfolgt die Darstellung einer virtuellen Quelle durch die Reproduktion des korrekten ursprünglichen Schallfeldes. Das Prinzip der Wellenfeldsynthese beruht also darauf, dass mit Hilfe einer Vielzahl von Lautsprechern im Wiedergaberaum das komplette Schallfeld wiedergegeben wird. Das Verfahren stellt quasi das akustische Gegenstück zur optischen Holographie dar. Damit ist eine korrekte Darstellung des Schallereignisses in Bezug auf Ort, Bewegung und räumliche Umgebung möglich. Die virtuellen Schallquellen werden damit exakt ortbar, auch wenn sich der Hörer im Wiedergaberaum bewegt, wobei diese Quellen sogar mitten im beschallten Raum generiert werden können. Sie sind für den Hörer im wahrsten Sinne des Wortes umgehbar. Es gibt also keine „Musik von vorne“ mehr. Der Hörer ist mitten im Geschehen.

Theorie

Die Wellenfeldsynthese beruht auf dem Huygens'schen Prinzip. Dieses besagt folgendes: Geht von einem Punkt S eines homogenen Mediums eine Kugelwelle aus, so kann man sich den Vorgang der Wellenausbreitung so vorstellen, dass ein in Schwingung versetztes Teilchen seine Kräfte an seine benachbarten Teilchen weitergibt und diese ebenfalls zum Schwingen veranlasst. Dieser Vorgang setzt sich nach allen Seiten gleichmäßig fort, wodurch eine Kugelwelle entsteht. Die Front dieser Kugelwelle kann man sich auch als Addition aller sekundärer Quellen auf einer Kugelfläche vorstellen, die ihrerseits Kugelwellen aussenden.

Bei der Wellenfeldsynthese ersetzt man die einzelnen punktförmigen Sekundärquellen durch Lautsprecher und erzeugt so wieder die ursprüngliche Kugelwelle. Bei dieser Art der Wiedergabe empfängt der Hörer die gleiche Wellenfront, welche die originale Schallquelle S aussenden würde, nur dass er sie tatsächlich von der virtuellen Schallquelle empfängt.

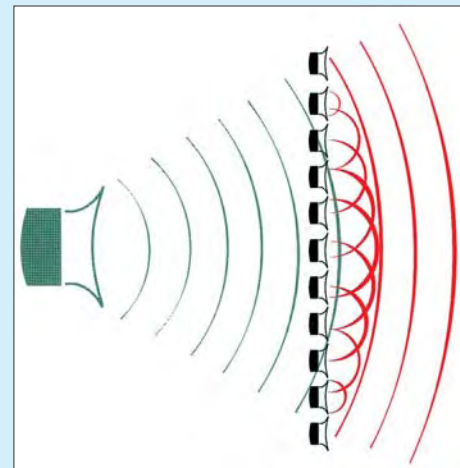
Auch mit linearen Lautsprecher-Arrays können Wellenfronten von Schallquellen oder -feldern sehr realistisch nachgebildet werden: Platziert man eine ebene Anordnung von n-Mikrofonen im originalen Schallfeld und gibt die aufgenommenen Mikrofonsignale über



Huygens'sches Prinzip

Theoretisches Modell: Sekundärquellen als punktförmige Kugelstrahler

Anwendung: Sekundärquellen durch Lautsprecher ersetzt



Erzeugung der kugelförmigen Wellenfront durch ein lineares Lautsprecher-Array

eine ebenso angeordnetes, ebenes Array mit n-Lautsprechern wieder, so kann in der Hörzone die originale Wellenfront nachgebildet werden (dazu müssten allerdings die Lautsprecher die gleiche Charakteristik wie die Mikrofone aufweisen). Bei der Realisierung wird hier sehr viel Rechenarbeit zu leisten sein, um dies auszugleichen. In der Praxis bedeutet dies, dass der gesamte Wiedergaberaum von Lautsprechern umgeben ist. Bei der Wiedergabe wird das Signal für jeden einzelnen Lautsprecher abhängig von der Position der einzelnen virtuellen Schallquellen unterschiedlich berechnet. Somit kann das Klangfeld der Aufnahmesituation exakt reproduziert werden. Es ist möglich, sowohl Punktquellen, als auch ebene Wellen nachzubilden.

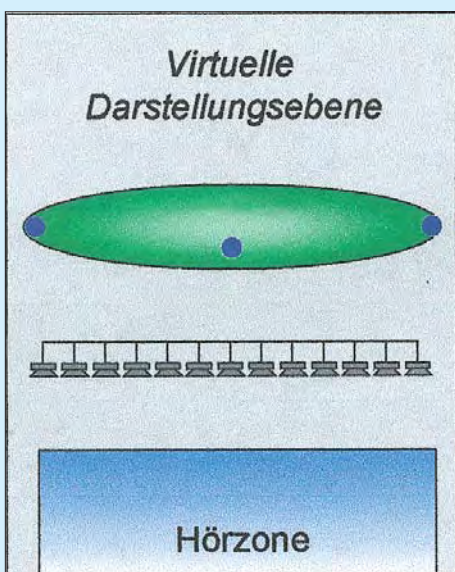
Praktische Realisierung

Bei der praktischen Umsetzung werden Pegel, Position und Abstand der Schallquellen getrennt von den Schalleigenschaften des Raumes aufgezeichnet und verarbeitet. Durch diese getrennte Erfassung ist es möglich, Schallquellen und Raum unabhängig voneinander zu manipulieren. Im Gegensatz zu den bisher bekannten Techniken werden Dichte und Entfernung der Schallquellen sehr exakt wiedergegeben. Es ist klar, dass zur Realisierung der Wiedergabe ein beträchtlicher Rechenaufwand zu bewältigen ist und dies ist auch der Grund, warum man sich dieser Wiedergabeart erst jetzt widmet, zu einer Zeit nämlich, in der auch entsprechend leistungsfähige Rechner zur Verfügung stehen.

Zur Speicherung und Übertragung von Audioquellen, ihren Eigenschaften und ihrer Position, sowie der Rauminformation eignet sich das 3D-Audioprofil des MPEG-4-Standards. MPEG-4 ist beim derzeitigen Stand der Technik das effizienteste Format zur qualitativ hochwertigen Codierung von Audiodaten. Des Weiteren ermöglicht es die Manipulation von Audioquellen in Echtzeit, was für die praktische Anwendung unumgänglich ist. Die zentrale Rechen- und Steuereinheit zur Verarbeitung der Wellenfeldsynthese-Daten besteht vorwiegend aus PC-Technologie, die ADAT-Soundkarten und entsprechend der Anwendung weitere Komponenten enthält. Bei der Wiedergabe kommt eine speziell für diese Daten vom **Fraunhofer Institut**

für Digitale Medientechnologien (Fraunhofer IDMT) entwickelte Software zum Einsatz. Unter dem Namen **IOSONO** werden die Wellenfeldsynthese-Anwendungen vom Fraunhofer IDMT vermarktet.

Die neue Technologie kann überall dort eingesetzt werden, wo größere Räume mit natürlichem Klang beschallt werden sollen. Dazu gehören Kinos, Multimedia-Installationen oder Virtual-Reality-Anwendungen, aber auch Outdoor-Live-Events. Die erforderlichen Lautsprecherpanels mit je acht Lautsprechern wurden dazu ebenfalls vom Fraunhofer IDMT entwickelt. Durch jeweils ein optisches ADAT-Kabel ist die zentrale Steuereinheit mit jedem Lautsprecher-Panel verbunden.



Praktische Anwendung: Erzeugung des Schallfeldes durch ein lineares Lautsprecher-Array

Foto: Dipl.-Ing. Günther Konecny



Vorführung der Wellenfeldsynthese bei der Tonmeistertagung: Links im Bild das lineare Lautsprecher-Array, welches sich über die gesamte Wandlänge erstreckte.