

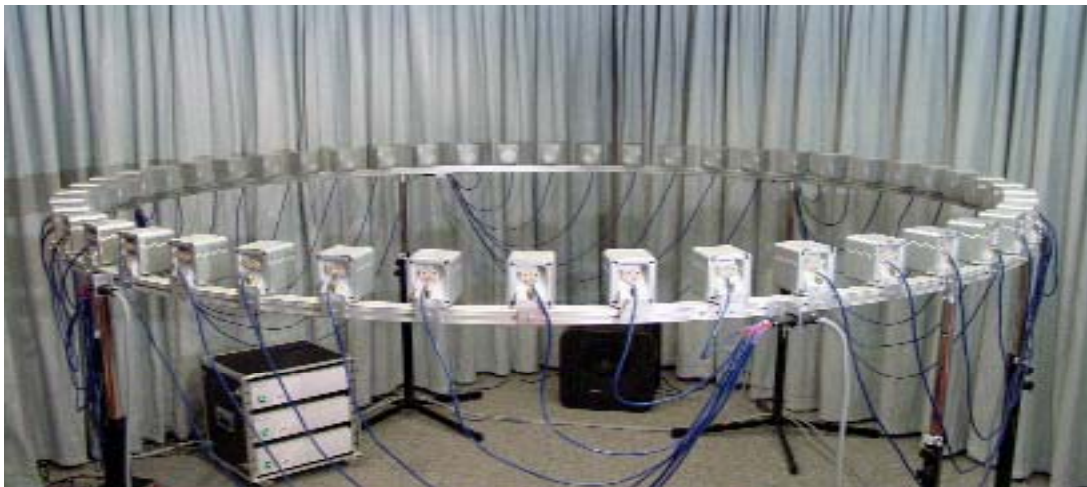
Reproduktion von Raumklang mittels Wellenfeldsynthese

Sascha Spors / Rudolf Rabenstein – 23.3.2004

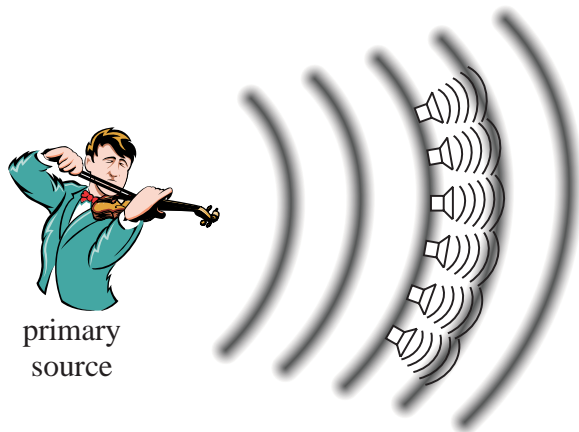
Es ist das Ziel der akustischen Wiedergabe eine reale oder virtuelle akustische Szene möglichst getreu zu reproduzieren. Im optimalen Fall sollen die Zuhörer vollkommen in die perfekte Illusion der wiedergegebenen akustischen Szene eintauchen ("Immersive Reproduktion"). Leider ist dieses hochgesteckte Ziel aufgrund von physikalischen und technischen Restriktionen bis heute noch nicht erreicht worden. Wellenfeldsynthese stellt jedoch eine wesentliche Verbesserung gegenüber den klassischen Verfahren dar. Um dies zu erläutern gehen wir zuerst kurz auf die klassischen Verfahren zur Reproduktion ein.

Bis heute hat sich eine Vielzahl von Verfahren zur akustischen Wiedergabe kommerziell durchgesetzt. Angefangen von dem einfachsten Fall der Wiedergabe mit einem Kanal (Mono), über zwei Kanäle (Stereo) bis hin zu 6 Kanälen (z.B. Dolby Digital 5.1). Diese verschiedenen Systeme haben breiten Einzug in die Haushalte gehalten. Im professionellen Kinobereich existieren daneben noch einige andere Verfahren, die zum Teil mit mehr Kanälen arbeiten. Allen diesen Verfahren ist jedoch gemeinsam, dass ihre Grundlagen von der menschlichen Wahrnehmung (Psychoakustik) abgeleitet sind. Sie streben keine physikalisch korrekte Reproduktion an, vielmehr soll ein korrekter Höreindruck beim Hörer erzeugt werden. Diese Vorgehensweise klingt zwar vielversprechend, bringt aber eine Reihe von Nachteilen mit sich. Die beiden wichtigsten werden im Folgenden kurz aufgezeigt:

- Der korrekte Höreindruck ist auf eine kleine Fläche begrenzt. Außerhalb dieses so genannten "sweet-spots" ist der räumliche Eindruck verfälscht. Daher ist es nicht möglich eine große Zuhörerschaft oder sich bewegende Zuhörer hochqualitativ zu beschallen
- Phantomquellen können nicht beliebig platziert werden. So ist es zum Beispiel bei den gängigen 5-Kanal Verfahren nicht möglich Phantomquellen zwischen den vorderen Lautsprechern und den hinteren (Surround-) Lautsprechern zu platzieren. Zusätzlich ist es nicht möglich Phantomquellen zwischen dem Zuhörer und dem Lautsprecher zu platzieren ("focused sources").



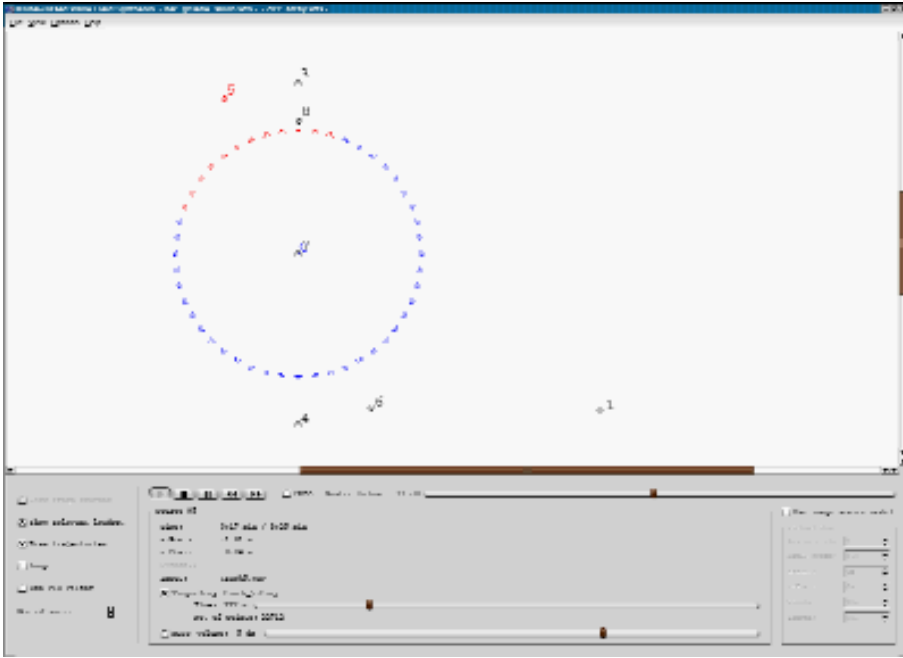
Das Verfahren der Wellenfeldsynthese beseitigt nun diese Nachteile durch eine physikalisch fundierte Herleitung. Wellenfeldsynthese beruht auf dem Huygenschen Prinzip. Dieses von Christian Huygens im Jahre 1678 formulierte Prinzip besagt: "Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt von Elementarwellen angesehen werden, die sich mit gleicher Geschwindigkeit und Wellenlänge wie die ursprüngliche Wellen ausbreiten. Die Einhüllende aller Elementarwellen stellt die neue Wellenfront dar."



Dieses Prinzip kann für die Reproduktion von akustischen Szenen genutzt werden indem man eine ausreichende Anzahl von Lautsprechern rund um den Zuhörerbereich platziert und entsprechende Signale generiert. Ausreichend bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Abstand der Lautsprecher 20cm nicht überschreiten sollte. Als Folge dieser physikalischen Basis wird bei der Wellenfeldsynthese das Schallfeld physikalisch korrekt reproduziert. Vorteile dieser Vorgehensweise sind ein großer Bereich mit korrekter räumlicher Wahrnehmung (kein "sweet spot") und die Möglichkeit Phantomquellen beliebig zu positionieren. Nachteile sind der hohe technische Aufwand durch die hohe Anzahl von Kanälen und der derzeitige Mangel an professionellen Produktionswerkzeugen.

An der Beseitigung dieser Nachteile arbeitet der Lehrstuhl für Multimediakommunikation und Signalverarbeitung (LMS) der Universität Erlangen-Nürnberg. Die dortigen Arbeitsgruppen beschäftigen sich mit verschiedenen Aspekten der Aufnahme und Wiedergabe von Tönen und Bildern. Neben der Bild- und Sprachkommunikation bilden die digitale Klangsynthese und die massiv-vielkanalige Audio-Aufnahme und Wiedergabe Schwerpunkte der Lehr- und Forschungstätigkeit.

Ein Schlüsselprojekt für die vielkanalige Aufnahme und Wiedergabe war das von der Europäischen Kommission geförderte Gemeinschaftsprojekt CARROUSO in den Jahren 2001-2003 an dem neben dem LMS noch neun verschiedene Partner aus fünf europäischen Ländern beteiligt waren. Ein Partner, die Technische Universität Delft, hatte bereits einen Prototypen eines vielkanaligen Wiedergabesystems entwickelt, der auf der Technik der so genannten Wellenfeldsynthese aufbaut. Im Projekt CARROUSO wurde die Wellenfeldsynthese weiterentwickelt und mit dem Multimedia-Standard MPEG-4 kombiniert, so dass eine komplette Übertragungskette für die Vielkanal-Aufnahme, -Übertragung und -Wiedergabe entstand. Das CARROUSO-Konsortium hat die verschiedenen Ausbaustufen seines Systems der Fachöffentlichkeit bei verschiedenen Gelegenheiten vorgestellt, z.B. bei einigen Conventions der Audio Engineering Society (AES), der Tonmeistertagung 2002 in Hannover und der Funkausstellung 2002 in Berlin.



Im Rahmen des CARROUSO-Projekts entstanden am LMS verschiedene vielkanalige Wiedergabeeinheiten (sog. Lautsprecher-Arrays), bei denen unterschiedliche Lautsprechertypen eingesetzt wurden, z.B. Breitbandlautsprecher (24-Kanal-System) oder 2-Wege Kompaktlautsprecher (48-Kanal-System). Eine neuartige Wiedergabetechnik sind die so genannten Flachlautsprecher, bei denen eine schwingungsfähige Projektionswand als gemeinsame Membran für mehrere Lautsprecher dient. Mit dieser audiovisuellen Wiedergabeeinheit wurde ein 32-Kanal-System mit vier Projektionswänden aufgebaut. Um mit diesen Lautsprecher-Arrays einen für die Zuhörer authentischen räumlichen Klangeindruck zu erzeugen, ist eine gezielte Ansteuerung jedes einzelnen

Lautsprecherkanals notwendig. Dazu dienen speziell entwickelte Vielkanal-Leistungsverstärker. Deren Ansteuerungssignale werden durch digitale Signalverarbeitung nach den genannten physikalischen Prinzipien generiert. Weitere Software-Module gestatten dem Benutzer die gezielte Manipulation der akustischen Szene. So können die Bewegungen einzelner Quellen unabhängig voneinander gesteuert oder die akustischen Eigenschaften der Umgebung gezielt verändert werden. Damit steht nicht nur die Möglichkeit einer originalgetreuen räumlichen Wiedergabe eines Werks zur Verfügung, sondern auch der kreative Eingriff in den Wiedergabeprozess. Wellenfeldsynthese ist somit nicht nur eine Technik zur Wiedergabe künstlerischen Materials, sondern selbst Teil der Palette gestalterischer Möglichkeiten. Diese flexiblen Einsatzmöglichkeiten machen die Wellenfeldsynthese für verschiedene Anwendungen interessant. In einem laufenden Projekt aus dem Luftfahrtforschungsprogramms des deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit untersucht der LMS den Einsatz der Wellenfeldsynthese in der Passagierkabine von Verkehrsflugzeugen. Der Freiraum für die Gestaltung akustischer Szenen wird hier jedoch nicht als künstlerische Ausdrucksmöglichkeit, sondern für die Erhöhung des Reisekomforts genutzt. Weitere Gebiete in denen die Wellenfeldsynthese nicht nur zur Wiedergabe, sondern auch zur Manipulation akustischer Szenen eingesetzt wird, sind Gegenstand aktueller Forschung am LMS. Dazu gehört die Kompensation unerwünschter Reflexionen des Wiedergaberaums und die Unterdrückung störender Geräusche. Ferner erlauben die hoch entwickelten Synthesemethoden in Verbindung mit Vielkanal-Aufnahmen auch die Analyse vorhandener oder virtueller Schallfelder. Neben diesen mehr technisch orientierten Forschungsarbeiten sollen in einer weiteren Kooperation nun gezielt die kreativen Gestaltungsmöglichkeiten der Wellenfeldsynthese herausgearbeitet werden. Das Projekt CLINIC von Michael Amman und Hejiko Bauer nutzt die vielschichtigen Möglichkeiten der WFS um den Dimensionen des Hörstücks, Sprache und Klang, eine weitere, den Raum, hinzuzufügen. Dies stellt ein Novum für die Wellenfeldsynthese dar, denn bisher wird nur die korrekte Reproduktion von aufgenommenen Klangfeldern angestrebt und demonstriert.