

Wellenfeldsynthese

*Bericht zum Workshop „Wellenfeldsynthese“ im
„Forum Neues Musiktheater“ der Staatsoper Stuttgart*

Helmut Wittek, IRT

Die Wellenfeldsynthese erobert sich ihren Weg in die Praxis. Über 15 Jahre ist es jetzt her, dass an der Technischen Universität Delft die theoretischen Grundlagen dieser Wiedergabeform gelegt wurden. Die Idee freilich ist schon wesentlich älter: schon Steinberg, Snow und Fletcher, die legendären Pioniere der Stereophonie, hatten in den 30-ern eigentlich die Realisierung eines „Acoustic Curtain“ im Sinn, eines akustischen Vorhangs bestehend aus Zeilen von Mikrofonen und Lautsprechern.



***Mit großem Interesse verfolgen Besucher aus den unterschiedlichsten
Bereichen die Wellenfeldsynthese-Demos***

Was damals unmachbar erschien, ist im „Zeitalter der Faltung“ kein Problem mehr: Heute kann ein handelsüblicher PC ein mittelgroßes Lautsprecherarray mit Signalen versorgen, die in Echtzeit aus Audio- und Positionsdaten errechnet werden (zu den Grundlagen der Wellenfeldsynthese oder WFS siehe Block). Dies wird bei den entsprechenden Instituten und Firmen, die sich mit Wellenfeldsynthese beschäftigen, seit Jahren so praktiziert. Mit den Möglichkeiten steigen nun natürlich auch die Wünsche: Bei einer interaktiven Positionierung einer virtuellen Schallquelle im Raum soll nicht nur die erste Wellenfront der Klangquelle, die für die Lokalisierung verantwortlich ist, verändert werden. Auch die Parameter des Raums wie Ort und Art der Erstreflexionen, Direktschall/Hall-Verhältnis sollen sich in gleichem Maße einstellen – so wie es bei einer natürlichen Schallquelle auch der Fall ist. Dies sind extrem hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Rendering-Systems. Hohe Anforderungen gelten natürlich auch an das Authoring-System: Die intuitive Bedienbarkeit und eine Integration

in die gewohnte Arbeitsumgebung des Tonmeisters sind Grundvoraussetzung. Eine weitere, sehr wichtige Anforderung an ein Wellenfeldsynthese-System von Seiten der Benutzer ist natürlich auch dessen Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit.

Inzwischen sind die ersten Systeme auf dem Markt, die diese Ideen realisieren. Eines dieser Systeme kommt von der Schweizer Firma sonicEmotion, die gemeinsam mit dem Pariser Institut IRCAM (Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique) Tools und Systeme im Workshop vorstellte. Jetzt, da es Serienfertigungen von Wellenfeldsynthese-Systemen gibt (es sind noch weitere Lösungen auf dem Markt, z.B. Fraunhofer IDMT/LAWO), ist es wohl nur eine Frage der Zeit, bis erste Wiedergabeanlagen in verschiedenen Anwendungen auf der Basis dieser Technologie entstehen.

Wellenfeldsynthese für das neue Musiktheater

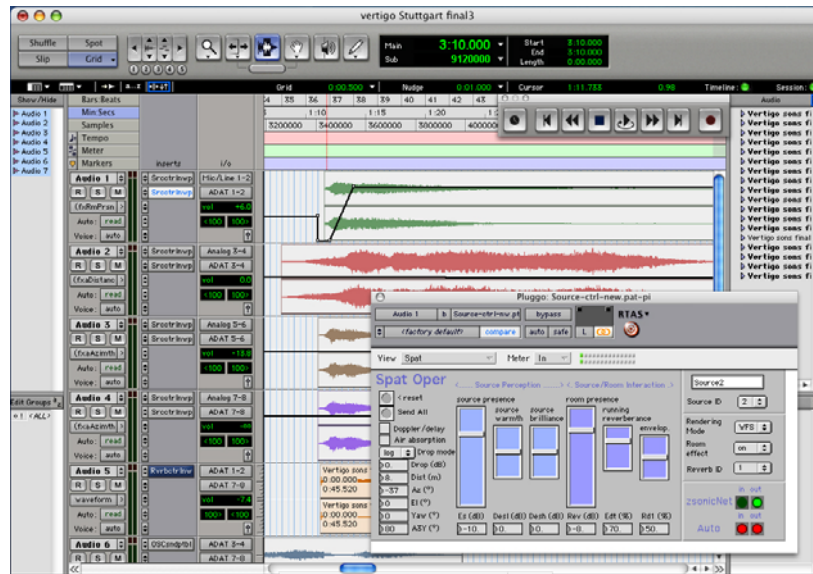
Eine dieser möglichen Anwendungen ist sicherlich der Theaterbereich und die Veranstaltungstechnik sowie spezielle elektroakustische Installationen z.B. für Neue Musik. In diesem Bereich findet sich großes Interesse von Seiten der Komponisten, Regisseure und Produzenten, die neue Ausdrucksformen suchen und Wellenfeldsynthese als neues Medium mit gewaltigen Möglichkeiten entdeckt haben. So war es am Wochenende des 1./2. Mai in Bad Cannstatt auch für alle Interessierten zu bewundern: Das „Forum Neues Musiktheater“ der Staatsoper Stuttgart bewies Mut und veranstaltete gemeinsam mit sonicEmotion und dem IRCAM einen zweitägigen Workshop „Wellenfeldsynthese“ in den Räumlichkeiten des Theaters. Der Intendant der Stuttgarter Staatsoper Professor Klaus Zehelein unterstrich bei der Eröffnungsrede des Workshop-Wochenendes: „Für das Forum Neues Musiktheater ist Wellenfeldsynthese ein ernstzunehmender, innovativer Aspekt bei der Integration neuer Medien in das Theater“. Das Forum konzentriert sich seit seiner Gründung immer wieder auf die Einbeziehung neuer Technologien in den Theaterbetrieb. Der Workshop, zu dem auch das IRT, der VDT und die AES Section South Germany eingeladen hatte, richtete sich an Tonmeister, Regisseure, Intendanten, Komponisten, Musiker und andere Schaffende aus den Bereichen Theater, Oper, Ballett und aus angrenzenden Gebieten. An den zwei Tagen wurde in verschiedenen Sessions ein theoretischer und praktischer Einblick in die Möglichkeiten der Wellenfeldsynthese und deren technische Realisierung gegeben. Dabei konnte sich jeder der über 100 Teilnehmer auch dank vieler Hörbeispiele einen Eindruck davon verschaffen, was bei Technik und Tools „state of the art“ ist. Im großen Konzertraum des Forums Neues Musiktheater war dazu ein großes Wellenfeldsynthese-System mit 80 Wiedergabekanälen aufgebaut (Foto). Es bestand aus 14 Flachlautsprechern oder MAP („Multi Actuator Panels“), also BiegeWellenlautsprechern, auf denen jeweils 4-8 Exciter angebracht waren.

Neue Authoring-Tools für Wellenfeldsynthese

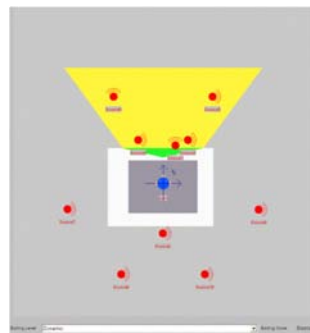
Die Teilnehmer des Workshops zeigten großes Interesse am praktischen Arbeiten mit Wellenfeldsynthese. sonicEmotion und das IRCAM stellten spezielle Tools vor, mit deren Hilfe das Erstellen einer akustischen Szene intuitiv und komfortabel wird. Dabei wurde bewusst auf die Integration dieser Werkzeuge in die gewohnte Arbeitsumgebung des Tonmeisters gesetzt: Ein ProTools-Plugin (Foto) sorgt für die Kontrolle der räumlichen Parameter und ermöglicht eine Automatisierung der verschiedenen Daten. Sowohl die Positionsdaten der Quelle, also deren Richtung und Entfernung, als auch die Eigenschaften der akustischen Umgebung lassen sich steuern und editieren. Das zugrunde liegende Raummodell ist dabei die „Spat“-Bibliothek, ein vom IRCAM geschaffenes Tool für virtuelle Akustik auf perceptiver Basis. Es arbeitet auf der Basis von Parametern, die die tatsächliche Wahrnehmung beschreiben wie „source presence“ oder „envelopment“ und ist dabei unabhängig vom verwendeten Wiedergabesystem. Erst die Wellenfeldsynthese allerdings nützt die Möglichkeiten dieser Art der räumlichen Beschreibung vollständig aus. Die Überlegenheit gegenüber der konventionellen Stereophonie wird hierbei offensichtlich: Jetzt macht es erst wirklich Sinn, einen Raum realgetreu nachzubilden oder einen realgetreuen imaginären Raum zu schaffen, da nur Wellenfeldsynthese in der Lage ist, einen sehr plausiblen virtuellen Raum zu erzeugen. Der Grund dafür, so der Stand aktueller Forschung, mag am meisten in Schallfeldmerkmalen zu suchen sein, die bei einer Bewegung des Hörers auftreten. Diese sogenannten „Self-Motion Cues“ sind offensichtlich wichtig für eine natürliche räumliche Wahrnehmung.

Ein besonderer Vorteil der Wellenfeldsynthese ist die große Hörzone, also die Unabhängigkeit von einem „sweet spot“, wie man ihn aus der Stereophonie kennt. Deshalb ist es auch ratsam, dass der Tonmeister an mehreren Positionen innerhalb der Hörzone die Mischung kontrolliert. Dazu wurde beim Workshop mit „ListenSpace“ ein

Tablet-PC vorgeführt, auf dem ein Umriss des Raums und die aktuelle Position der Audioquellen abgebildet sind:



Wellenfeldsynthese als VST@-Plugin, Grafik: IRCAM, Paris



„ListenSpace“:

ein Authoring-Tool für Wellenfeldsynthese, Grafik: IRCAM, Paris

Drahtlos ungebunden lassen sich nun die Positionen und Bewegungen der Quellen beobachten und kontrollieren sowie mit einem Stift editieren. Der Tablet-PC kommuniziert dabei mit dem besprochenen ProTools-Plugin und liest/schreibt die Positionsdaten. Der Tablet-PC dient also als mobiler zweidimensionaler Panpot, der es ermöglicht, die Position einer Quelle bei laufender Wiedergabe beliebig zu verändern und zu automatisieren. Die Teilnehmer des Workshops konnten auf diese Weise selber erstmalig zum „WFS-Tonmeister“ werden und fanden sichtlich Lust an der neuen Freiheit.

Wie versorgt man 80 Kanäle?

Die beim Workshop vorgestellte Audio-Architektur unterliegt vollständig dem Prinzip der objektorientierten Tonmischung. Im Gegensatz zur konventionellen Kanalorientierung, bei der die Audio-Kanäle selber editiert und gespeichert werden, wird nun in der gesamten Bearbeitungskette mit Audio-Objekten gearbeitet. Diese bestehen zum einen aus dem eigentlichen Audio-Inhalt der Quelle und zum anderen aus den Raum- und Positionsdaten. Der Vorteil dieser Trennung liegt auf der Hand: Bei einem System von 80 Kanälen, so wie es in Bad Cannstatt präsentiert wurde, hätte es keinen Sinn, 80 Audiospuren zu speichern, zu verarbeiten und wiederzugeben. Statt dessen wird das eigentliche Signal nur ein einziges mal gespeichert und mit den jeweiligen Parametern verknüpft. Erst bei der Wiedergabe selber wird das Signal jedes Arraylautsprechers errechnet. Dies ermöglicht es, einzelne Quelleneigenschaften separat zu jedem Zeitpunkt der Produktion zu verändern oder auszu-

tauschen, sei es eine Filterung des Signals, die Raumgröße oder sogar die Richtcharakteristik der Quelle. Außerdem ist man bei dieser Arbeitweise am Ende völlig unabhängig vom Setup des Wiedergabesystems. Eine Tonmischung kann auf unterschiedlichen Arraysystemen wiedergegeben werden, sogar ein Rendering für ein konventionelles 5.1-System ist aus diesen Daten möglich. Eine solche objektorientierte Methodik war im Zusammenhang mit Wellenfeldsynthese erstmalig im CARROUSO-Projekt (EU-gefördertes internationales Projekt, 2001-2003) vorgestellt worden, in dem außerdem eine Übertragung der Audio-Objekte via MPEG-4 stattfand.

Eine Realisierung dieses Paradigmas stellt die in Bad Cannstatt vorgestellte Netzwerk- und Renderingtechnik dar: „ZsonicNet“, das Netzwerk von sonicEmotion, bietet durch eine vernetzte Verarbeitung der Daten auf mehreren Rechnern eine dezentrale Lösung und verspricht somit hohe Effektivität und Betriebssicherheit. Diese Technik ermöglicht trotz dezentraler Architektur eine synchrone Steuerung aller Lautsprecherkanäle. Eine Gruppe von Lautsprechern (oder ein „FlatPanel“) ist immer mit einer eigenen Rechneinheit (ein 19“/2HE-Gerät mit einem „embedded“ System, siehe Foto mit Flachlautsprecher) verbunden. Auf diese Weise sind die WFS-Anlagen in Größe und Performance skalierbar und Anlagen mit mehreren hundert Lautsprechern realisierbar. Das System verwendet Standard-Netzwerkverbindungen (Ethernet, Firewire, ATM) und ist verantwortlich für die synchrone (samplegenaue) Verarbeitung von Audio- und Kontrolldaten auf allen angeschlossenen Rechnerknoten. Audio und Parameter werden gemeinsam über das Netz geschickt und bei den verschiedenen Knoten verarbeitet.



„ZsonicPanels“:
moderne Flachlautsprechertechnik, im Bild auch die dezentralen Rendering-Einheiten

Flachlautsprecher im praktischen Einsatz

Eine Trennung der Wellenfeldsynthese von der Flachlautsprechertechnik scheint heute kaum vorstellbar. Die Vorteile der Flachlautsprecher bei einer so aufwändigen Technologie wie Wellenfeldsynthese liegen auf der Hand: Sie können als sogenannte MAP („Multi Actuator Panels“) verwendet werden, also mehrere Anreger können an einem Panel angebracht werden können. So wird nicht nur der Materialaufwand wesentlich verringert. Die MAP lassen sich nun einfach in einen Raum integrieren (z.B. als Projektionsfläche wie im Foto des Workshops“). Darüber hinaus, und das wurde ebenfalls beim Workshop erläutert, gibt einem die Anordnung der Panels im Array die Möglichkeit, die komplizierte Übertragungsfunktion der Panels gezielt zu entzerren. Auf diese Weise ist mit den Panels eine erstaunlich gute Klangqualität zu erzielen, wie es geschulte Ohren bei der Vorführung beurteilen konnten. Entsprechende Methoden sind bereits auf diversen Tagungen von Forschern des IRCAM präsentiert worden. Die beim Workshop präsentierten „ZsonicPanels“ (Bild) sind Produkte von sonicEmotion, die sich laut Mitgründer Renato Pellegrini in verschiedenen Größen und Designs ordern lassen.

Der Fortschritt bei der Flachlautsprechertechnik macht Mut, denn eines ist offensichtlich: Für viele Anwendungen ist der optische Aspekt so ausschlaggebend, dass WFS und auch andere Techniken nur mit Flachlautsprechertechnik zu realisieren sind.

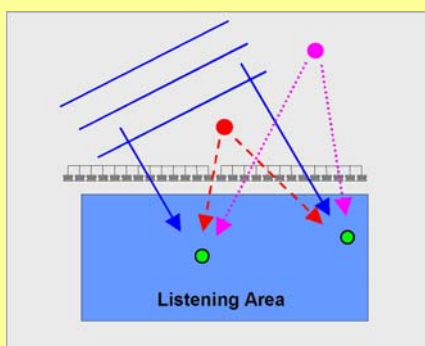
Dank vieler eindrucksvoller Hörbeispiele und der wertvollen Ausführungen mehrerer Spezialisten zu den jeweiligen Themen konnte der Besucher des Workshops einen überaus ehrlichen und umfassenden Einblick in das Potenzial der Wellenfeldsynthese und den Stand der Technik gewinnen. Neben den sonicEmotion-Gründern Renato Pellegrini und Mathias Rosenthal, die kompetent über das „Zsonic“-System Auskunft gaben, sprachen Spezialisten wie Olivier Warusfel, Etienne Corteel und Terence Caulkins vom IRCAM über aktuelle Entwicklungen. Gastvorträge von Anwendern (Der Komponist Philippe Schoeller, IRCAM, präsentierte sein Werk „Vertigo“ erstmals mit Wellenfeldsynthese) und Theoretikern (Helmut Wittek, IRT, sprach über „Virtual Panning Spots“ – ein Hilfsmittel zur Arbeit des Tonmeisters mit Wellenfeldsynthese) rundeten das Angebot ab. Der Workshop präsentierte somit Wellenfeldsynthese als neuartige Wiedergabetechnik, die dem Stadium der Forschung entwachsen ist. Sowohl theoretische Grundlagen als auch erste Konzepte liegen vor und machen Wellenfeldsynthese zu einem mächtigen Werkzeug, das für einige Anwendungen außergewöhnliches Potenzial hat. Auf verschiedene Realisierungen dürfen wir uns sicher in den nächsten Jahren freuen.

Grundlagen der Wellenfeldsynthese

Eine der zukünftigen Ausgaben des VDT-Magazins wird detailliert über Wellenfeldsynthese (WFS, Wave Field Synthesis) und die damit verbundenen Entwicklungen berichten. Deshalb sei hier nur eine kleine Erläuterung dieser Wiedergabetechnik gegeben.

Im Prinzip gibt es drei grundsätzlich verschiedene Arten, eine Audio-Quelle wiederzugeben. Dies sind die Stereofonie, die Binauraltechnik und, allgemein formuliert, die Schallfeldsynthese. Letztere versucht im Gegensatz zu den anderen beiden Techniken, das komplette Schallfeld einer natürlichen Quelle rund um den Hörer nachzubilden. Damit unterscheidet sie sich von der Stereofonie vor allem dadurch, dass es möglich ist, sich im Schallfeld zu bewegen, ohne dass das Klangbild verzerrt wird oder zusammenbricht. Wellenfeldsynthese ist mit dem theoretisch verwandten Verfahren Ambisonics ein Vertreter dieser Wiedergabeart. Die Theorie der WFS wurde in den späten 80er Jahren an der Technischen Universität Delft formuliert und ist seitdem Inhalt zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen. Mit dem von der EU geförderten Projekt CARROUSO (2001-2003), das WFS mit MPEG-4 als Übertragungsstandard zum Inhalt hatte, kam für WFS ein deutlicher Schub nach vorne.

Die grundlegende Eigenschaft der Wellenfeldsynthese: Eine virtuelle WFS-Quelle kann an jedem beliebigen Ort der (horizontalen) Lautsprecherebene positioniert werden. (Genauer gesagt, die Wellenfront einer Quelle an einem beliebigen Ort in dieser Ebene kann durch Lautsprecherarrays in gewissen Grenzen realgetreu wiedergegeben werden) Da die Wellenfronten der natürlichen und der virtuellen Quelle übereinstimmen, ist auch die wahrgenommene Richtung der Quellen dieselbe. Der daraus folgende Gewinn für das Design einer akustischen Szene erläutert am besten folgendes Bild:



**Grundprinzip der Wellenfeldsynthese:
Synthese von Punktquellen und ebenen Wellen**

In diesem Bild sind unterschiedliche virtuelle Quellenpositionen schematisch dargestellt. Dies sind zwei Punktquellen (rot und pink) und eine sogenannte ebene Welle, das heißt eine Quelle in unendlicher Entfernung (blau). Bewegt sich der Hörer nun in der Hörzone, ändert sich realgetreu die Perspektive des Klangbilds. Auch die Pegelverhältnisse verändern sich realistisch. Im Prinzip können auch Quellen vor dem Array synthetisiert werden („fokussierte Quellen“). Weitere Informationen zu Grundlagen der Wellenfeldsynthese und zu weiterer Literatur z.B. auf:

www.hauptmikrofon.de/wfs.htm