

# Musikwiedergabe in einem Club über konventionelle Lautsprecheranordnungen bzw. mittels Wellenfeldsynthese

Hugo Fastl<sup>1</sup>, Beat Bauer<sup>1</sup>, Ralf Zuleeg<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AG Technische Akustik MMK, TU München, Arcisstr. 21, 80333 München, E-Mail: fastl@mmk.ei.tum.de

<sup>2</sup> d&b audiotechnik GmbH, 71504 Backnang

## Einleitung

Bei der Beschallung von Live-Auftritten über konventionelle Lautsprecheranordnungen treten häufig Diskrepanzen zwischen dem visuell bzw. dem akustisch wahrgenommenen Ort von Musikern auf. Dieses Problem könnte bei Beschallung mittels Wellenfeldsynthese minimiert werden. Allerdings kann die aus dem Kirchhoff-Helmholtz-Integral abgeleitete Wellenfeldsynthese in der Praxis grundsätzlich nur mehr oder weniger unzureichend angenähert werden [1], [2].

In dieser Arbeit werden diese unterschiedlichen Arten der Musikwiedergabe in ein und demselben Raum sowohl messtechnisch als auch psychoakustisch studiert: Einerseits „klassische“ Links-Rechts-Beschallung (LR) mit Linearrays und andererseits „Wellenfeldsynthese“ mittels IOSONO, wobei u.a. wegen der endlichen Anzahl von Lautsprechern genau genommen nur ein „3D-Sound“ oder „Spatial Audio“ realisiert werden konnte [3]. Dennoch soll im Folgenden der Begriff „Wellenfeldsynthese“ (WFS) verwendet werden.

## Raum und Beschallung

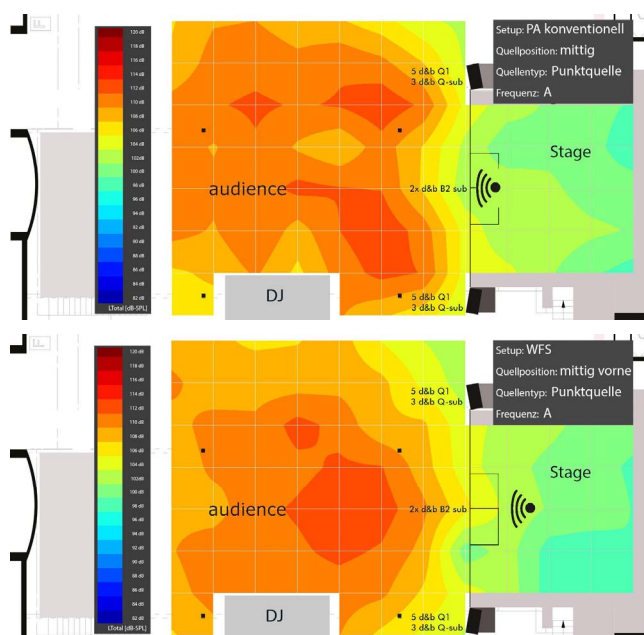
Die Untersuchungen wurden in einem Club für etwa 1200 Personen mit etwa 470 qm Fläche durchgeführt. Mittels Absorbieren und Bassfallen konnte nahezu im gesamten Hörbereich eine Nachhallzeit von etwa 0,5 sec erreicht werden.

Für die Links-Rechts-Beschallung wurden je Seite fünf Line Array Elemente (d&b Q1) sowie je drei Tieftonlautsprecher (Q-Subs in Cardoid Anordnung) plus zwei mittig in der Bühnenvorderkante verbaute Tieftonlautsprecher (B2) verwendet. Für die WFS wurden zusätzlich über der Bühnenvorderkante in 4,5 m Höhe fünf mal je vier Line Array Lautsprecher (T10) angebracht; das mittlere Array kann auch als „Center Fill“ für die Links-Rechts-Beschallung verwendet werden. Darüber hinaus wurden für die WFS an beiden Saalseiten sowie hinten jeweils sechs Lautsprecher (12S-D) in 3,7 m Höhe angebracht. Der Abstand zwischen den Lautsprechern betrug dabei etwa 2 m (zur Erinnerung: für eine „echte“ Wellenfeldsynthese wären unendlich viele Wandler mit unendlich kleinem Abstand zueinander notwendig). Die Tief- und Tieftonlautsprecher wurden auch bei der WFS eingesetzt.

## Messtechnische Beurteilung

Die Pegelverteilung sowie das Klarheitsmaß [4] wurden in einem 2x2m-Raster mit Kugel-Kondensatormikrofonen (DPA 4090) erfasst und mittels der Software „Room Capture“ sowie MATLAB ausgewertet und verarbeitet.

Abbildung 1 zeigt als Beispiel die unterschiedliche Verteilung des A-bewerteten Schallpegels im Raum bei Links-Rechts-Beschallung bzw. WFS bei gleichem durchschnittlichem Schallpegel im Zuhörerbereich.



**Abbildung 1:** Verteilung des A-bewerteten Schallpegels im Club für eine mittig angeordnete Schallquelle bei Links-Rechts-Beschallung (oben) bzw. bei WFS (unten)

Ein Vergleich der Teilbilder in Abb.1 zeigt die homogenere Schallpegelverteilung für WFS, während bei LR zwei Keulen nahe den Line Arrays auftreten.

Wegen kleinerer Wandler und Unterschieden in der Anbindung des Tieftonbereichs ergaben sich für die WFS im Übertragungsmaß zwischen 100 und 200 Hz quellpositionsabhängige Unterschiede von etwa 4 dB sowie unterschiedliche Schallverteilungen.

Die Auswertung des Klarheitsmaßes  $C_{80}$  ergab für die WFS mit Quellpositionen nahe der Bühnenvorderkante zwar geringere Spitzenwerte als bei LR; ähnlich wie bei den Schallpegeln war die Verteilung der  $C_{80}$  Werte jedoch homogener. Für größer gewählte Abstände zwischen WFS-Quellposition und realer Lautsprecherposition sinkt durch den Einsatz mehrerer Lautsprecher das durchschnittliche Klarheitsmaß.

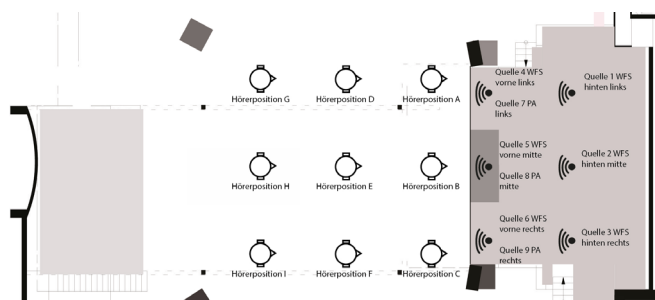
## Subjektive Beurteilung

Psychoakustische Experimente wurden zur Ortung von Impulsfolgen aus Rosa Rauschen durchgeführt und das

Konzert einer Liveband (bottomless beheaded) mit Sängerin, Gitarre, Bass und Schlagzeug hinsichtlich der Musikwiedergabe beurteilt.

**Ortung von Impulsfolgen aus Rosa Rauschen**

Neun normalhörende Versuchspersonen beurteilten jeweils an neun Positionen im Raum den wahrgenommen Ort von Impulsfolgen (700 ms ein, 300 ms aus, 4 sec Dauer) aus Rosa Rauschen. Mit LR wurden auf der Bühne drei Orte (vorne: links, mitte, rechts), mit WFS sechs Orte (links, mitte, rechts; jeweils vorne und hinten) synthetisiert (vgl. Abb. 2).



**Abbildung 2:** Aufteilung Hör- und Quellpositionen im Hörversuch Ortung

Bei Darbietung mittels LR wurden 33% (Ratewahrscheinlichkeit) bis 66% der Richtungen korrekt erkannt, mit WFS jedoch 75% bis 92%. Allerdings wurde die Entfernung (vorne/hinten) mit WFS nur mit 50% (Ratewahrscheinlichkeit) bis 70% richtig erkannt. Dies entspricht der Beobachtung, dass sogar bei deutlich aufwendigeren WFS-Systemen die Ortung meist sehr gute Ergebnisse erbringt, die Entfernungswahrnehmung aber zu wünschen übrig lässt [5].

**Konzert mit Liveband**

Während des Konzerts einer Liveband konnte zwischen den Darbietungsarten LR bzw. WFS umgeschaltet werden. Die jeweilige Beschallungsart wurde dem Publikum mittels einer großen Leuchtanzeige signalisiert. 75 Konzertbesucher beantworteten auf einem Fragebogen die in Tabelle 1 aufgelisteten Fragen mit „stimme zu“ bzw. „weiß nicht“ oder „stimme nicht zu“.

Obwohl mit LR eher ein „druckvollere“ Bass“ erzeugt werden konnte (Frage 3), spiegelt sich (wie erwartet) die bessere Zuordnung der Quellen bei WFS in den sehr positiven Urteilen (Frage 1, 4) der Konzertbesucher wider. Allerdings ergibt sich bei der Frage (5), ob alle Konzerte mit WFS beschallt werden sollten, keine eindeutige Präferenz für oder gegen WFS.

Da die Musiker auf der Bühne mit Monitorlautsprechern versorgt wurden, konnten sie keine Unterschiede zwischen LR und WFS feststellen.

**Zusammenfassung**

In einem Club mit etwa 1200 Plätzen wurden von den Besuchern bei Darbietung eines Livekonzerts mittels „Wellenfeldsynthese“ nach IOSONO die im Vergleich zu konventioneller Beschallung bessere Übereinstimmung von visuellem und akustischem Ort der Schallquelle sehr positiv gewürdigt („der Klang kommt von der Band, nicht aus den Lautsprechern“). Dennoch ergab sich für die Aussage „Alle Konzerte sollten mit WFS verstärkt werden“ keine klare Mehrheit.

**Tabelle 1:** Prozentsatz der Antworten auf die im Folgenden dargestellten Fragen mit Zustimmung, Enthaltung, Ablehnung

	Stimme zu	Weiß nicht	Stimme nicht zu
„Mit der Wellenfeldsynthese klingt das Instrument näher an dem Ort, an dem es sich wirklich befindet“	84 %	3 %	13 %
„Die Verstärkung mittels konventioneller Anlage klingt natürlicher“	19 %	19 %	62 %
„Die konventionelle Anlage klingt druckvoller“	47 %	18 %	35 %
„Die Wellenfeldsynthese wird weniger als „technische Verstärkung“ wahrgenommen, der Klang kommt also von der Band und nicht aus den Lautsprechern“	72 %	9 %	19 %
„Alle Konzerte sollten mit Wellenfeldsynthese verstärkt werden“	43 %	36 %	21 %

**Literatur**

[1] Berkhout, A.J., de Vries, D., Vogel, P.: Acoustic control by wave field synthesis. J. Acoust. Soc.Am. 93 (1993), 2764-2778.

[2] Wittek H.: Perceptual differences between wavefield synthesis and stereophony, PhD thesis, University of Surrey (2007)

[3] Blauert, J. (Ed.), The technology of binaural listening, Springer/ASA Press 2013

[4] Reichardt, W. ; Abdel Alim, O. ; Schmidt, W.: Definitionen und Meßgrundlage eines objektiven Maßes zur Ermittlung der Grenze zwischen brauchbarer und unbrauchbarer Durchsichtigkeit bei Musikdarbietungen. Acustica 32 (1975), 126–137

[5] Völk F., Fastl, H.: Wave Field Synthesis with Primary Source Correction: Theory, Simulation Results, and Comparison to Earlier Approaches. In 133<sup>rd</sup> AES Convention (2012) (Convention Paper 8717)