

Untersuchung zur Verwendung von Line-Array-Technologie für die Wellenfeldsynthese

Daniel Beer, Michael Strauß

Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie, 98693 Ilmenau, Deutschland,
Email: beer@idmt.fraunhofer.de, sus@idmt.fraunhofer.de

Motivation

Zur Beschallung größerer Auditorien hat sich die Line-Array-Technologie durchgesetzt. Hierbei soll das Schallfeld einer Linienschallquelle durch eine linienförmige Anordnung von Teilschallquellen synthetisiert werden.

Auch bei der Wellenfeldsynthese (WFS) werden Teilschallquellen benutzt, um beliebige Schallfelder zu rekonstruieren.

Entscheidend für die Synthesequalität beider Verfahren ist die akustisch korrekte Kopplung der Teilschallquellen über den gesamten Hörfrequenzbereich.

Aus diesem Grund soll eine Übertragbarkeit des vorhandenen Lösungsansatzes der Line-Array-Technologie auf die Wiedergabemethode WFS untersucht werden.

Grundlagen

Das Huygens'schen Prinzip beschreibt die Nachbildung des Schallfeldes einer virtuellen Quelle basierend auf der Verwendung einer Anzahl von sekundären Teilschallquellen (z.B. Lautsprecher, Abb. 1). Die fehlerfreie Synthese des Schallfeldes ist dabei an die korrekte Überlagerung der Teilschallfelder gemäß dem räumlichen Abtasttheorem (Gl. 1) gebunden (vgl. Shannon).

$$f_{max} = \frac{c}{2 \cdot d} \quad [\text{Hz}] \quad (\text{Gl. 1})$$

Es bezeichnet f_{max} die obere Grenzfrequenz der korrekten Synthese, c die Schallgeschwindigkeit in Luft und d den Abstand der Zentren der Teilschallquellen.

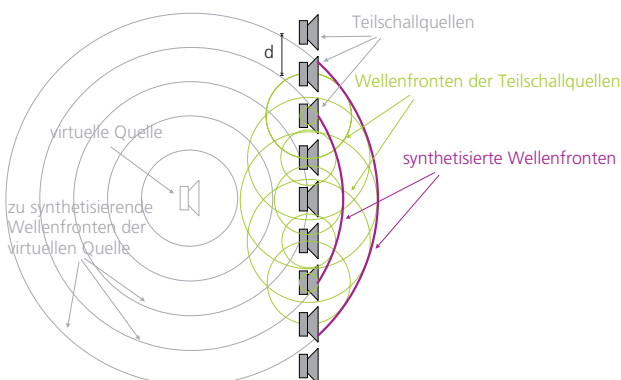


Abbildung 1: Das Huygens'sche Prinzip

Aus Gleichung 1 geht hervor, dass die Wahl des Lautsprecherabstandes d die obere Grenzfrequenz (Aliasing-Frequenz) der Synthese bestimmt. Signalanteile mit einer

Frequenz $f > f_{max}$ werden nicht mehr korrekt überlagert und führen zu Aliasing-Artefakten.

Der Lösungsansatz der Line-Array-Technologie besteht darin, dass man oberhalb der Aliasing-Frequenz durch entsprechende Abstrahlcharakteristik der Lautsprecher die Überlagerung verhindert (Abb. 2). Trotz Verletzung des Abtasttheorems (Gl. 1) treten keine Aliasing-Artefakte auf.

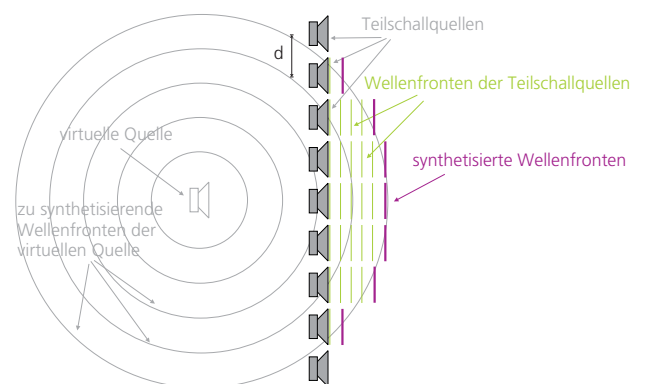


Abbildung 2: Lösungsansatz der Line-Array-Technologie

Als Lösungsvorschlag für die Wellenfeldsynthese wird in [2] die Reduzierung der räumlichen Bandbreite des Schallfeldes der Teilschallquellen genannt. Die Realisierung kann durch die Berücksichtigung bei der Signalberechnung oder durch die Verwendung einer geeigneten Abstrahlcharakteristik der Lautsprecher geschehen.

Schallfeldmessungen an einem Line-Array

Zur Untersuchung der Qualität der Wellenfrontbildung wurde am Fraunhofer IDMT das Messsystem RAWES zur Erfassung und Auswertung von Multikanal-Impulsantworten entwickelt [4].

Der untersuchte Messaufbau (Abb. 3) bestand aus 32 Elementen HK-Audio Cohedra Compact CDR108, welche als horizontales Array angeordnet waren. Synthetisiert wurden verschiedene Quelltypen, als Messsignal diente ein logarithmischer Sinus-Sweep von 100Hz-8kHz.

Wie erwartet erfolgt die Bildung der ebenen Wellenfronten ohne erkennbare Aliasing-Artefakte (Abb. 4). Für gekrümmte Wellenfronten traten jedoch oberhalb der aus dem Abstand resultierenden Grenzfrequenz f_{max} Artefakte auf.

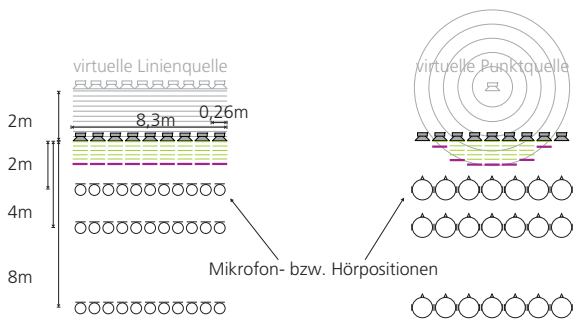


Abbildung 3: Das Mess- und Hörtestszenario mit 32 HK-Audio Cohedra Compact CDR108.

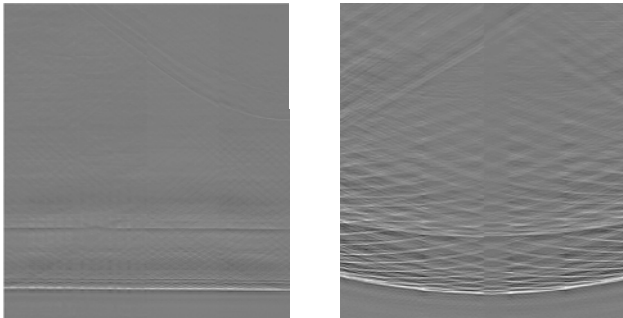


Abbildung 4: Gemessene Wellenfronten einer ebenen (links) und einer gekrümmten Wellenfront (rechts).

Informeller Hörtest – Aliasing Artefakte

Die Wahrnehmung der Aliasing-Artefakte und die damit verbundene Klangfarbenveränderung sollte in einem informellen Versuch beurteilt werden.

Als Testsignal wurde impulshaltige Instrumentalmusik (Schlagzeug) und bandpass-gefiltertes Rosa Rauschen mit $f < f_{max}$ und $f > f_{max}$ - als Ebene Welle bzw. Punktquelle synthetisiert - eingespielt. Die Probanden konnten sich in festgelegten Abständen parallel zum Array bewegen (Abb. 3).

Für die Darbietung mit Ebenen Wellen konnte beobachtet werden, dass bei zunehmender Entfernung des Zuhörers vom Array eine ortsabhängige Färbung des Klangbildes auftrat. Allerdings nur für die Anregungsarten Musiksignal bzw. Bandpass-Rauschen mit $f > f_{max}$. Im Frequenzbereich $f < f_{max}$ konnten keinerlei Artefakte festgestellt werden.

Ähnlich gestaltet sich das Ergebnis für gekrümmte Wellenfronten, wobei die Artefakte hier deutlicher in Erscheinung traten. Für das Musiksignal wurde eine zusätzliche tonale Komponente bei Transienten (z.B. Anschlag Snaredrum) wahrgenommen.

Hörtest – positionsabhängige Klangfarbe

Die in [6] genannte Annahme des Aufprägens der Abstrahlcharakteristik der Teilschallquellen auf die Abstrahlcharakteristik der virtuellen Quelle wurde in einem zweiten Hörversuch untersucht. Der Aufbau (Abb. 5) bestand aus 36 Elementen Alcons Audio LR14. Bei gleichbleibender Hörposition wurde eine virtuelle Punktquelle unter verschiedenen Einfallswinkeln synthetisiert (0° , 15° und 28°). Anhand eines Musikbeispiels

wurde festgestellt, dass bei zunehmender Auslenkung eine Dämpfung der hochfrequenten Schallanteile eintrat (Abb. 6).

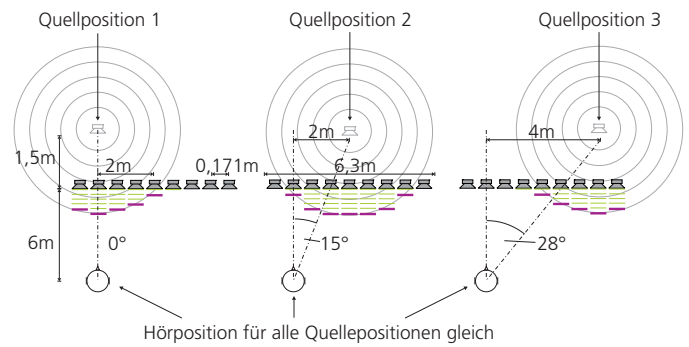


Abbildung 5: Szenario für den Test mit Alcons Audio LR 14

Dies lässt sich als Aufprägung der stark gerichteten Abstrahlcharakteristik der Line-Array-Elemente im Hochtonbereich auf die virtuelle Quellcharakteristik interpretieren.

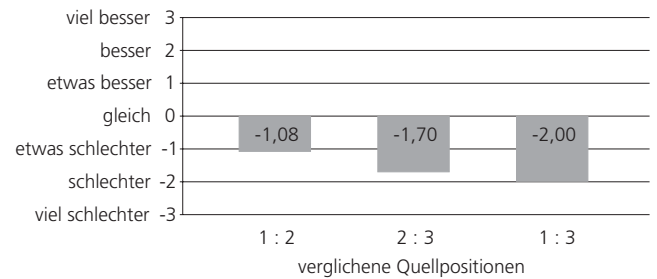


Abbildung 6: Verschlechterung des Klangeindrucks mit zunehmender Quellauslenkung.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Ansatz der Line-Array-Technologie konnte unter den gegebenen Umständen das Aliasing-Problem der WFS nicht ausreichend verhindert werden. Die Annahmen in [6] bezüglich der Aufprägung der Abstrahlcharakteristik wurden bestätigt.

Literatur

- [1] Heil, Urban: Wavefront Sculpturing Technology, 111th AES Convention, Sept. 2001, New York.
- [2] Start, Valstar, de Vries: Application of Spatial Bandwidth Reduction in Wave Field Synthesis, 98th AES Convention, Feb. 1995, Paris.
- [3] Start: Direct sound enhancement by wave field synthesis, thesis, 1997, Delft University of Technology.
- [4] Kutschbach, H.: Verification for Spatial Sound Systems, AES 24th Conference, May 2003, Banff.
- [5] v. Ungern-Sternberg, G.: Untersuchung zur Beschallung größerer Auditorien mit Wellenfeldsynthese unter Betrachtung praktischer Anwendungsszenarien und deren realen Umgebungsbedingungen, Diplomarbeit, März 2006, Technische Universität Ilmenau.
- [6] de Vries, D.: Sound reinforcement by wave field synthesis: adaption of the synthesis operator to the loudspeaker directivity characteristics, J. Audio Eng. Soc. 44, pp 1120-1131