

Über die Streuung im synthetischen Schallfeld

Jens Ahrens und Sascha Spors

Quality and Usability Lab, Deutsche Telekom Laboratories, Technische Universität Berlin,
Ernst-Reuter-Platz 7, 10587 Berlin, Email: {jens.ahrens,schas.spors}@telekom.de

Einleitung

Die Wellenfeldsynthese [1], das Nahfeld-kompensierte Ambisonics höherer Ordnung [2] sowie die Spektrale Divisionsmethode [3] stellen die drei bekanntesten analytischen Methoden der Schallfeldsynthese dar. In erster Instanz gehen alle diese Verfahren von einer kontinuierlichen Verteilung von Elementarschallquellen („Sekundärquellen“) aus. Die Quellen werden derart angesteuert, dass sich ihre abgestrahlten Schallfelder zu einem Schallfeld mit gewünschten physikalischen Eigenschaften über einen ausgedehnten Bereich hinweg überlagern.

Die Berechnung der Ansteuerungssignale nimmt dabei Freifeldbedingungen an. Das heißt, es wird davon ausgegangen, dass sich keinerlei Objekte im Zielbereich sowie anderswo befinden, die die Ausbreitung des Schalls beeinflussen. Im vorliegenden Beitrag untersuchen wir den Einfluss von unvermeidbaren Streukörpern, wie z.B. einem menschlichen Hörer, in solchen synthetischen Schallfeldern.

Kugelförmige Sekundärquellenverteilungen werden repräsentativ für drei-dimensionale Szenarien betrachtet, kreisförmige Sekundärquellen werden repräsentativ für $2^{1/2}$ -dimensionale Szenarien betrachtet [4]. Die qualitativen Eigenschaften anderer Sekundärquellenanordnungen können direkt von den vorgestellten Ergebnissen abgeleitet werden.

Kugelförmige Sekundärquellenverteilungen

Im Folgenden wird eine kontinuierliche akustisch transparente kugelförmige Sekundärquellenverteilung mit Radius R und ein kugelförmiger Streukörper mit Radius A angenommen, die beide um den Ursprung des Koordinatensystems zentriert sind. (vgl. Abb. 1(a)). Es kann gezeigt werden, dass eine solche Sekundärquellenverteilung im Stande ist, beliebige quellenfreie Schallfelder perfekt zu synthetisieren [4].

Darüber hinaus kann analytisch gezeigt werden, dass die Streumechanismen bei natürlichen und synthetischen Schallfeldern identisch sind [5]. Ist also das synthetisierte Schallfeld identisch mit der natürlichen Vorlage, so sind auch die gestreuten Schallfelder identisch. Dies ist in Abb. 2 illustriert. Innerhalb der Sekundärquellenverteilung in Abb. 2(b) ist das resultierende Schallfeld identisch mit jenem bei der Streuung des natürlichen Schallfeldes am gleichen Streuobjekt (Abb. 2(a)).

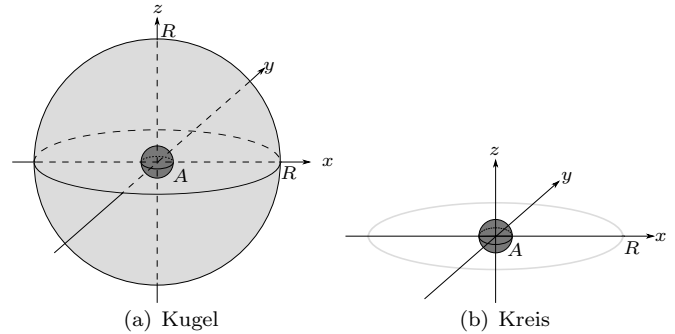


Abbildung 1: Betrachtete Sekundärquellenverteilungen mit kugelförmigem Streukörper

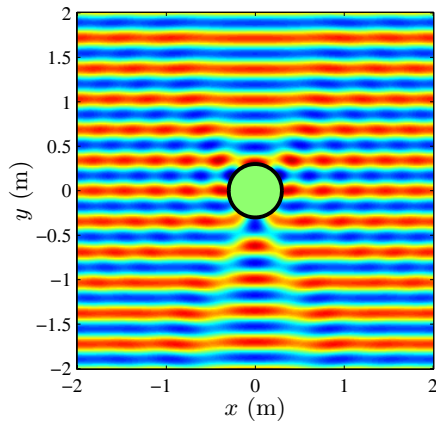
Kreisförmige Sekundärquellenverteilungen

Kreisförmige Sekundärquellenverteilungen stellen einen besonderen Fall dar. Da ein solches Szenario zwischen Zwei- und Drei-Dimensionalität liegt, spricht man von $2^{1/2}$ -dimensionaler Synthese. Die betrachtete Geometrie ist in Abb. 1(b) dargestellt. Solcherlei Sekundärquellenanordnungen weisen bestimmte Einschränkungen auf. So ist die Synthese auf Schallfelder beschränkt, die innerhalb der Horizontalebene fortschreiten. Auch weicht im Allgemeinen der Amplitudenverlauf des synthetisierten Schallfeldes vom gewünschten Amplitudenverlauf ab [4].

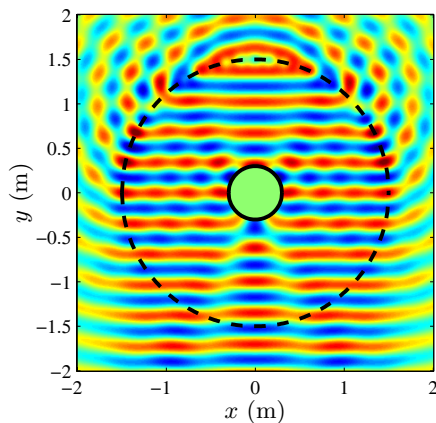
Da also die synthetisierten Schallfelder im Allgemeinen von natürlichen Schallfeldern abweichen, ist davon auszugehen, dass auch die gestreuten synthetischen Schallfelder von den gestreuten natürlichen Schallfeldern abweichen. Dies ist aus Abb. 3(a) ersichtlich. Ein Vergleich von Abb. 3(a) mit Abb. 2(b) zeigt, dass das Streuobjekt in der $2^{1/2}$ -dimensionalen Synthese das Schallfeld stärker abschattet als bei drei-dimensionaler Synthese. Dieser Umstand könnte bei der Anwesenheit mehrerer Streuobjekte in einem synthetischen Schallfeld unerwünschte Auswirkungen haben.

Ein weiterer Aspekt ist der Umstand, dass die Annahme einer kontinuierlichen Verteilung von Sekundärquellen in der Praxis nicht umgesetzt werden kann. Es müssen Anordnungen einer begrenzten Anzahl diskreter Lautsprecher verwendet werden. Diese räumliche Diskretisierung führt oberhalb einer gewissen Frequenz zu einer Reihe von Artefakten, die häufig unter dem Begriff des *räumlichen Aliasing* zusammengefasst werden [4]. Die *Aliasingfrequenz*, also die Frequenz oberhalb derer nennenswerte Artefakte auftreten, liegt typischerweise zwischen 1000 und 2000 Hz.

Wird nun ein Streukörper in ein solches Aliasing-



(a) gestreute ebene Welle



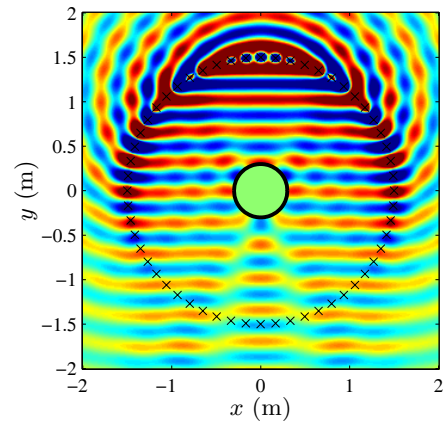
(b) gestreute synthetische ebene Welle. Die gestrichelte Linie beschreibt die Sekundärquellenverteilung mit $R = 1.5$ m.

Abbildung 2: Schallfelder in der Horizontalebene. Die gezeigten ebenen Wellen schreiten in negativer y -Richtung fort und tragen ein monochromatisches Signal der Frequenz $f = 1000$ Hz. Der Radius des Streukörpers ist $A = 0.3$ m.

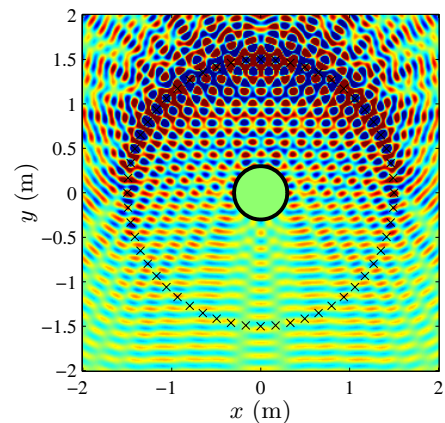
behaftetes synthetisches Schallfeld eingebracht, werden sowohl der gewünschte Teil des synthetischen Schallfeldes gestreut als auch die Artefakte. Ein solches Szenario ist in Abb. 3(b) dargestellt. Die perceptiven Konsequenzen dieser Streuung der Artefakte kann auf Grund der nur wenig bekannten Eigenschaften selbiger nicht antizipiert werden.

Zusammenfassung

Bei der Berechnung der Ansteuerungsfunktionen der Sekundärquellen in der Schallfeldsynthese werden Freifeldbedingungen angenommen. Es wurde gezeigt, dass die grundlegenden Mechanismen der Streuung synthetischer Schallfelder an unvermeidbaren Objekten, wie z.B. einem menschlichen Hörer, gleich jenen bei der Streuung natürlicher Schallfelder sind. Wenn also ein synthetisiertes Schallfeld einem natürlichen Schallfeld gleicht, so sind auch die jeweils gestreuten Felder gleich. Synthetische Schallfelder weisen jedoch mitunter andere Eigenschaften als natürliche Felder auf. In diesem Fall weisen auch die gestreuten synthetischen Felder andere Eigenschaften als gestreute natürliche Schallfelder auf.



(a) $f = 1000$ Hz



(b) $f = 2400$ Hz

Abbildung 3: Schallfelder in der Horizontalebene synthetisiert durch eine diskrete kreisförmige Sekundärquellenverteilung mit Radius $R = 1.5$ m bei unterschiedlichen Frequenzen. Die Markierungen beschreiben die Positionen der Sekundärquellen. $A = 0.3$ m

Literatur

- [1] A. J. Berkhout, D. de Vries, and P. Vogel. Acoustic control by wave field synthesis. *JASA*, 93(5):2764–2778, May 1993.
- [2] J. Daniel. Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia [Representations of sound fields, application to the transmission and reproduction of complex sound scenes in a multimedia context]. PhD thesis, Université Paris 6, 2001. text in French.
- [3] J. Ahrens and S. Spors. Sound field reproduction using planar and linear arrays of loudspeakers. *IEEE Trans. on Sp. and Audio Proc.*, 18(8):2038–2050, November 2010.
- [4] J. Ahrens. The single-layer potential approach applied to sound field synthesis including cases of non-enclosing distributions of secondary sources. Doctoral dissertation, Technische Universität Berlin, 2010.
- [5] J. Ahrens and S. Spors. On the scattering of synthetic sound fields. In *130th Convention of the AES*, page paper 8121, London, UK, May 2010.