

# Untersuchungen zum Einfluss von Reflexionen bei der Übersprechkompensation

Tobias Lentz

Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen; Email: [tobias.lentz@akustik.rwth-aachen.de](mailto:tobias.lentz@akustik.rwth-aachen.de)

## Einleitung

Die naturgetreue Wiedergabe binauraler Signale über Lautsprecher ist ohne zusätzliche Signalverarbeitung nicht möglich, da durch die schlechte Kanaltrennung die Lokalisation der Schallereignisse verfälscht bzw. zunichte gemacht wird. Ein Verfahren die unzureichende Kanaltrennung zu verbessern ist der Einsatz der Übersprechkompensation [1][2]. Diese modifiziert das wiederzugebende Signal so, dass die Anteile aus dem Übersprechen vom rechten Lautsprecher zum linken Ohr und vom linken Lautsprecher zum rechten Ohr ausgelöscht werden. Im Idealfall gelangt nur das eigentliche Nutzsignal an das betreffende Ohr des Zuhörers. Problem dieser Methode ist, dass das Kompensationsfilter nur in einem Punkt gültig ist und nur dort eine ausreichende Kanaltrennung erreicht wird. Dieses Problem kann mit einer dynamischen Kompensation [3] behoben werden, bei der abhängig von der Position des Zuhörers ein gültiges Filter zur Verfügung gestellt wird. Für die hier vorgestellten Untersuchungen wird das im Institut für Technische Akustik realisierte System [4] verwendet, das aus einer HRTF-Datenbank zur Laufzeit die Kompensationsfilter für die momentane Position bestimmt.

## Problemstellung

Bei der Berechnung der Kompensationsfilter werden Freifeld-Außenohrübertragungsfunktionen des ITA-Kunstkopfes verwendet. Eventuell auftretende Raumreflexionen werden nicht berücksichtigt. Diese müssten einzeln modelliert werden, da ihre zeitliche Lage zum Direktschall nicht konstant bleibt, sondern sich abhängig von der momentanen Zuhörerposition verschiebt. In Abbildung 1 ist die zeitliche Lage der Reflexionen zum Direktsignal dargestellt.

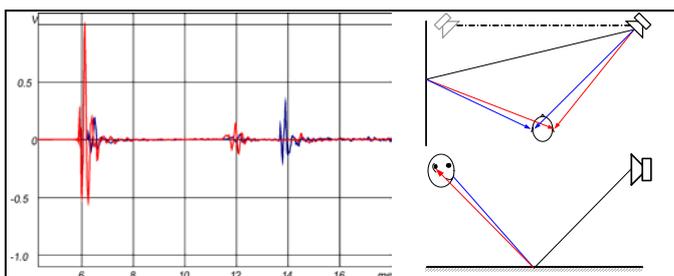


Abbildung 1: Außenohrimpulsantwort mit Reflexionen

Dieses Verfahren setzt also eine ideal reflexionsfreie Umgebung voraus, die allerdings in der Praxis sehr selten zu realisieren ist. Ein Einsatzgebiet ist aber gerade in „Virtual Reality“-Systemen (z.B. Holo-Bench<sup>1</sup> oder Cave<sup>2</sup>), um ein stimmiges dreidimensionales Schallfeld zum 3D Bild zu erzeugen. Dabei sind Projektionsflächen für die visuelle Darstellung unvermeidlich und führen zwangsläufig zu Reflexionen.

## Hörtests

Alle Hörtests wurden in einem reflexionsarmen Halbraum durchgeführt, der Boden war allerdings zunächst mit Absorberrmatten ausgelegt. Der Lautsprecherabstand betrug 3 m, die Versuchsperson stand mittig in 1,5 m Abstand davor. Als Testsignal wurde gepul-

tes rosa Rauschen verwendet mit einer Pulsdauer von 700 ms gefolgt von einer 700 ms Pause.

Folgende Hörtests wurden durchgeführt:

- 1) Ohne Übersprechkompensation / ohne Reflexionen
- 2) Mit dyn. Kompensation / ohne Reflexionen
- 3) Mit dyn. Kompensation / mit Reflexionen / kopffeste Quellen
- 4) Mit dyn. Kompensation / mit Reflexionen / raumfeste Quellen
- 5) Mit dyn. Kompensation / mit Reflexionen / raumfeste Quellen / versetzte Abhörposition

Um die Wirkung der verwendeten Übersprechkompensation generell zu verifizieren, wurde zunächst ein Hörversuch durchgeführt, bei dem das binaurale Signal direkt ohne weitere Bearbeitung über die Lautsprecher wiedergegeben wurde. Das beschriebene Testsignal wurde im Vorfeld mit den Außenohrimpulsantworten für die geforderte Richtung gefaltet. Dabei kamen die gleichen Freifeld-Impulsantworten des ITA-Kunstkopfes zum Einsatz, die auch im System zur Übersprechkompensation verwendet werden. Die Filter bestehen jeweils aus 512 Koeffizienten.

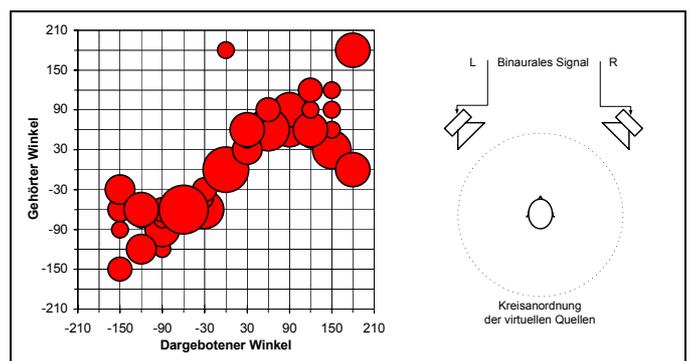


Abbildung 2: Lokalisierungsergebnisse bei Hörversuch 1

An Abbildung 2 wird deutlich, dass im vorderen Bereich die Pegel und Laufzeitunterschiede im Signal ausreichen, um eine Ortung zu ermöglichen. Im seitlichen und hinteren Bereich wird die Ortung allerdings sehr schlecht. Noch schlechter werden die Resultate, wenn sich die Abhörperson nicht mehr in der Mitte zwischen den Lautsprechern aufhält. Im Vergleich zeigt Abbildung 3, dass durch die Verwendung der Übersprechkompensation die Ortung seitlicher und hinterer Quellen wesentlich verbessert wurde.

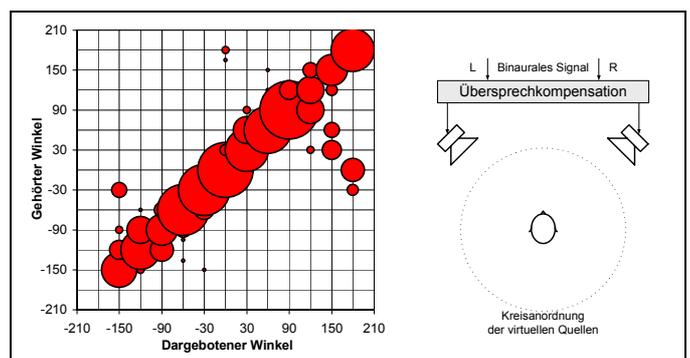


Abbildung 3: Lokalisierungsergebnisse bei Hörversuch 2

<sup>1</sup> Projektionseinrichtung mit 2 Flächen

<sup>2</sup> Projektionseinrichtung mit 3 bis 6 Flächen

## Kopffeste Quellen

Zur Untersuchung des Einflusses reflektierender Flächen auf die Ortung wurden drei Trennwände um die Abhörumgebung aufgebaut, die Matten auf dem Boden wurden ebenfalls entfernt. Die Seitenwände hatten einen Abstand von 20 cm zu den Wiedergabelautsprechern, die hintere Wand befindet sich 2 m vor der Lautsprecherebene, also 50 cm hinter der Abhörposition. Die Anordnung der Flächen entsprach etwa der Situation in einer Cave. Die Gesamtfläche der zusätzlichen zum Boden eingebrachten Reflektoren betrug 12 m<sup>2</sup>. Als Stimuli wurden die bereits oben beschriebenen offline gefalteten Signale verwendet. Abbildung 4 zeigt die Resultate, die eine deutliche Verschlechterung gegenüber den Ergebnissen ohne Reflexionen (Abbildung 3) erkennen lassen, jedoch immer noch bessere Lokalisationsergebnisse liefern, als die erste Variante (vgl. Abbildung 2), ohne Übersprechkompensation.

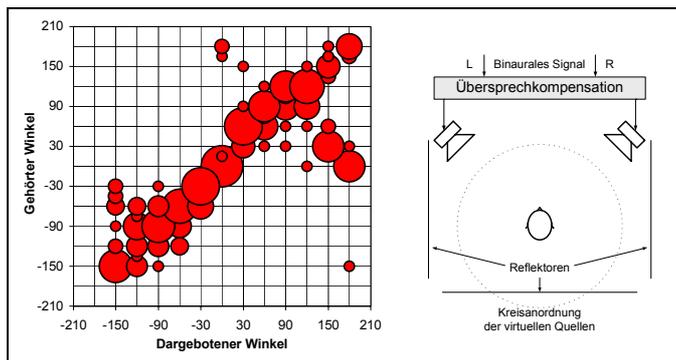


Abbildung 4: Lokalisationsergebnisse bei Hörversuch 3

Für viele Anwendungen z.B. in Verbindung mit einem Bildwiedergabesystem zur Erzeugung einer virtuellen Umgebung ist jedoch die hier erzielte Lokalisationsleistung zu gering. Eine zu große Abweichung der Position des Objektes im Bild und dem dazugehörigen Ton führt zu Verwirrung oder Fehlinterpretation der dargebotenen Szene.

## Raumfeste Quellen

Alle bisherigen Untersuchungen wurden mit kopffesten Quellen durchgeführt. Dies bedeutet, dass die Richtungsinformationen bereits im Quellmaterial enthalten sind und während der Bewegung des Probanden nicht verändert werden können. Die akustische Szene bewegt sich also mit dem Probanden mit. Im weiteren Verlauf wird die Synthese der Richtung erst zur Laufzeit durchgeführt und kann der Bewegung der Abhörperson ständig angepasst werden. So ist es möglich, virtuelle Quellen zu realisieren, die ihre Position im Raum unabhängig von der Zuhörerbewegung beibehalten.

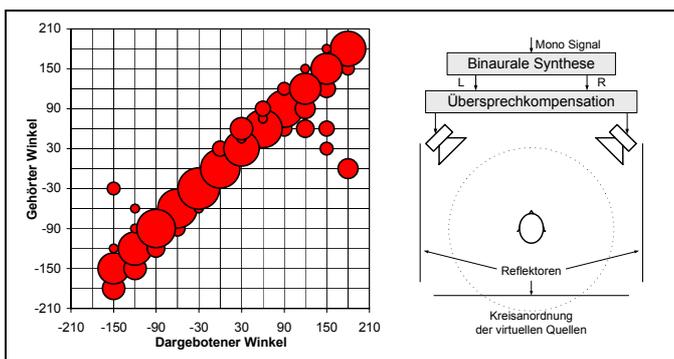


Abbildung 5: Lokalisationsergebnisse bei Hörversuch 4

Erst diese Erweiterung bietet dem Probanden die Möglichkeit, Peilbewegungen durchzuführen, um den Richtungseindruck zu überprüfen und zu bestärken. Die in Abbildung 5 dargestellten Ergebnisse zeigen einen deutlichen Anstieg der Lokalisationsleistung, die sogar besser ist, als die im Fall ohne Reflexionen mit kopffester Quelle. Mit dieser Methode lassen sich also die Unsicherheiten in der Lokalisation, verursacht durch die schlechtere Kanaltrennung, ausgleichen. Im nächsten Hörtest wird die Centerposition des Kreises, auf dem sich die virtuellen Quellen befinden um 60 cm nach links verschoben. Dort soll sich auch die Abhörperson während des Tests befinden. Durch diese Verschiebung befindet sich der Proband wesentlich näher an einer reflektierenden Fläche, der zeitliche Abstand von Direktschall und Reflexion ist also geringer, zudem ist auch der Pegel der Reflexion höher. Abbildung 6 zeigt, dass dadurch die Lokalisationsergebnisse wieder schlechter werden, sie liegen allerdings immer noch in der Größenordnung der im Versuch 3 ermittelten Ergebnisse.

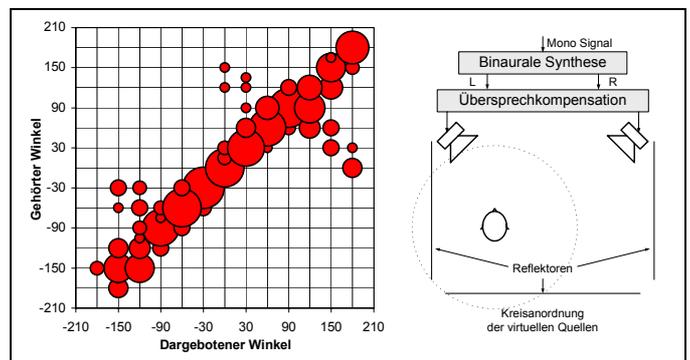


Abbildung 6: Lokalisationsergebnisse bei Hörversuch 5

## Zusammenfassung / Ausblick

Die hier durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Einflüsse der Wandreflexionen deutlich sichtbar sind und die Anwendung der reinen Übersprechkompensation für die Wiedergabe binauraler Signale sehr beeinträchtigt. Durch die Realisierung von raumfesten Quellen, die dem Zuhörer die natürlichen Ortsbewegungen gestatten, kann dies weitestgehend behoben werden. Die Anwendung der Übersprechkompensation in einer realen Umgebung mit erheblichen Reflexionen, wie beispielsweise einer Cave, ist daher sehr vielversprechend.

Der hier gewählte Abstand der virtuellen Quellen von 30° ist sehr grob, reicht aber um eine generelle Verbesserung nachzuweisen. Weitere Versuche mit engerem Quellabstand sind geplant, um die Einflüsse genauer bezüglich Quellschärfe und Aufweitung zu untersuchen.

## Referenzen

- [1] Møller, H.: Reproduction of artificial head recordings through loudspeakers., Journal of the Audio Engineering Society. 37 (1989).
- [2] Schmitz, A.: Naturgetreue Wiedergabe kopfbezogener Schallaufnahmen über zwei Lautsprecher mit Hilfe eines Übersprechkompensators., Dissertation, Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen (1993).
- [3] Gardner, W.G.: 3-D audio using loudspeakers., Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, (1997)
- [4] Lentz, T, Schmitz, O.: Realisierung eines Echtzeit-Systems zur Nachführung der Übersprechkompensation für einen bewegten Zuhörer, Fortschritte der Akustik, S. 730, (2002).