

# Gestaltung von Reflexionen in Auditory Displays

Bernd Dürrer, Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum

## Einführung

Die räumliche Darbietung von Schallquellen in Auditory Displays ermöglicht es, den Hörereignisort als zusätzlichen Informationsträger zu verwenden; darüberhinaus kann der Anwender im Falle mehrerer konkurrierender Kanäle vom Cocktail-Party-Effekt profitieren. Bei Darbietung über Kopfhörer kann die Simulation der Hörereignisrichtung z. B. durch Filterung des Signals mit der entsprechenden Außenohrübertragungsfunktion erfolgen; häufig ist es jedoch auch erforderlich, die Entfernung des Hörereignisortes gestalten zu können.

Als Grundlage für die Entfernungswahrnehmung dienen im wesentlichen der Pegel des Direktschalls sowie das Energieverhältnis zwischen Direktschall und reflektiertem Schall. Der Pegel des Direktschalls ( $\sim 1/r$ ) kann als relatives Merkmal angesehen werden, bei dem für eine absolute Entfernungsschätzung Vertrautheit mit dem Signal erforderlich ist [1]; Dies ist insbesondere zu Bedenken, wenn die Entfernung für ein synthetisches Signal zu schätzen ist (z. B. Earcon in einem Auditory Display). Hingegen ist das Energieverhältnis zwischen Direktschall und reflektiertem Schall ein absolutes Merkmal; der Hallabstand kann hierbei als ein physikalisches Maß angesehen werden, dass mit der wahrgenommenen Entfernung korreliert ist [2].

Um in einem Auditory Display die Voraussetzungen für eine zuverlässige Entfernungswahrnehmung zu schaffen, ist es also erforderlich, neben dem Direktschall auch reflektierten Schall zu simulieren. Dies kann durch das Hinzufügen von zusätzlichen virtuellen Schallquellen erfolgen: Diese können für eine gegebene räumliche Anordnung von Schallquelle und reflektierenden Flächen auf Grundlage der geometrischen Akustik berechnet werden. Für einfache Raumgeometrien (Rechteckraum) ist die Bestimmung der zusätzlichen virtuellen Schallquellen trivial (z. B. sind zur Berechnung keinerlei trigonometrische Funktionen erforderlich). Allerdings erfordert jede dieser zusätzlichen virtuellen Schallquellen bei der Auralisierung mindestens den gleichen Signalverarbeitungsaufwand wie die Simulation des Direktschalls (Filtern mit einer Außenohrübertragungsfunktion sowie zusätzliche Filter, um die Reflexionseigenschaften der Wände zu simulieren). Darüberhinaus können diese zusätzlichen Schallereignisse eine größere Lokalisationsunschärfe bewirken, die der eigentlichen Zielsetzung des Auditory Displays

(Lokalisation der Quelle an einem möglichst exakten Hörereignisort) zuwiderläuft.

Hierbei ist zu bedenken, dass der der Simulation zugrunde liegende Raum nur ein Hilfsmittel ist: Es soll dem Hörer keine Information über den Raum vermittelt werden, sondern es soll mit Hilfe des Raumes Information über den Ort der Schallquelle vermittelt werden.

## Versuchsszenario

Der minimal notwendige Aufwand für eine plausible Simulation wurde in mehreren Hörversuchen ermittelt. Dazu wurden zwei unterschiedliche Raumgrößen benutzt ( $270\text{m}^3$  und  $1620\text{m}^3$ ); die akustischen Eigenschaften der reflektierenden Flächen wurden durch richtungs- und frequenzunabhängige Reflexionsfaktoren modelliert: Auch hier wurden zwei unterschiedliche Einstellungen verwendet (0,5 und 0,8), so dass sich insgesamt 4 verschiedene Raumkonfigurationen ergeben. Es wurden Reflexionen bis zur 4. Ordnung auralisiert, woraus sich 129 virtuelle Schallquellen ergeben. Der Empfänger befand sich an einer festen Position im Raum; die Schallquelle wurde aus 10 verschiedenen Positionen in der Horizontalebene dargeboten, wobei die Entfernung zwischen 0,8m und 5m lag. Als Testsignal wurde fortlaufende Sprache eines männlichen Sprechers verwendet. Die Darbietung erfolgte über Kopfhörer, wobei an einem Kunstkopf gemessene Außenohrübertragungsfunktionen (128 taps) verwendet wurden. An beiden im Folgenden geschilderten Versuchen nahmen jeweils 8 Versuchspersonen teil.

## Experiment zur Entfernungswahrnehmung

In diesem Hörversuch konnte die Versuchsperson mit einem Schieberegler virtuelle Schallquellen ein- und ausschalten: Die virtuellen Schallquellen waren dabei nach Pegel sortiert; in den beiden Extremstellungen waren nur der Direktschall bzw. sämtliche virtuelle Schallquellen aktiv. Die Versuchsperson konnte beliebig zwischen Referenz (sämtliche Schallquellen aktiv) und der gerade gewählten Einstellung umschalten. Aufgabe war es, die minimale Anzahl virtueller Schallquellen einzuschalten, für die sich der gleiche Entfernungseindruck ergab.

Hierbei war es für einige Versuchspersonen nach eigener Aussage schwierig, zwischen Raum- und Entfernungseindruck zu trennen. Je nach Raumkonfiguration und Entfernung war eine stark unterschiedliche Zahl von virtuellen Schallquellen aktiv (zwischen 7 und 129). Die Ergebnisse lassen sich

dennoch sinnvoll in einem Schwellenkriterium für die Pegeldifferenz zwischen Reflexion und Direktschall zusammenfassen: Liegt die Pegeldifferenz zwischen Reflexion und Direktschall oberhalb dieser Schwelle (hier: im Mittel 32,2dB), beeinflusst diese Reflexion nicht mehr das Entfernungsurteil, kann aber zu anderen Attributen des Hörereignisses beitragen (z.B. Raumeindruck, Ausdehnung des Hörereignisses).

Durch Anwendung dieses Schwellenkriteriums lässt sich also die Anzahl der auralisierten virtuellen Schallquellen und damit der Signalverarbeitungsaufwand vermindern, wobei aber im Hörereignis enthaltene Rauminformationen verloren gehen können: Wie eingangs erläutert ist dies aber für ein Auditory Display durchaus akzeptabel oder u.U. sogar wünschenswert.

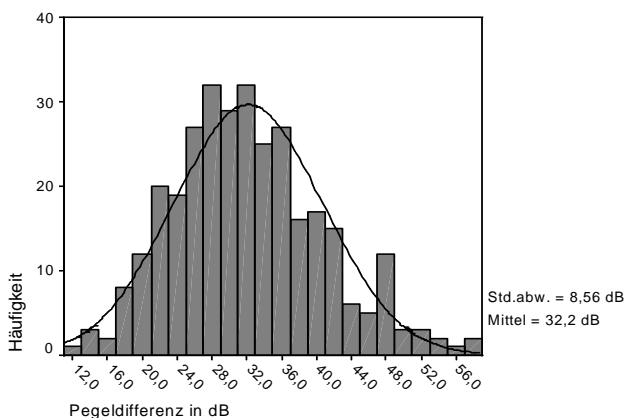


Abb. 1: Schwelle für den Beitrag zum Entfernungseindruck

### Experiment zur Klangverfärbung

Der Signalverarbeitungsaufwand ist nicht nur abhängig von der Zahl der virtuellen Schallquellen, sondern vor allem von der sich daraus ergebenden Zahl unterschiedlicher Schalleinfallrichtungen (d.h. der Zahl der anzuwendenden Außenohrübertragungsfunktionen). Hier wäre die einfachste Möglichkeit, die Schalleinfallrichtungen der Reflexionen auf die des Direktschalls zu ändern, um nur eine Außenohrübertragungsfunktion anwenden zu müssen. Dies führt jedoch zu deutlich hörbaren Klangverfärbungen (Kammfiltereffekte), die für synthetische Laute (z.B. Earcons) möglicherweise akzeptabel wären, grundsätzlich jedoch nicht wünschenswert sind.

Der Einfluss der Schalleinfallrichtung einer Reflexion auf die Klangverfärbung wurde in einem weiteren Hörversuch untersucht: Mit einem Schieberegler konnten die Versuchspersonen die Schalleinfallrichtung der virtuellen Schallquellen umschalten. Die virtuellen Schallquellen waren dabei nach Pegel sortiert; in den beiden Extremstellungen des Reglers wurden die Reflexionen alle aus der Richtung des Direktschalles bzw. aus ihrer „originalen“ Richtung

dargeboten. Die Versuchsperson konnte beliebig zwischen Referenz (sämtliche Schallquellen aus ihrer „originalen“ Richtung) und der gerade gewählten Einstellung umschalten. Aufgabe war es, die minimale Anzahl virtueller Schallquellen einzustellen, für die die Klangverfärbungen verschwanden.

Die Ergebnisse lassen sich in ähnlicher Weise zusammenfassen wie im vorangegangenen Versuch zur Entfernungswahrnehmung: Auch hier ergibt sich ein Schwellenkriterium für die Pegeldifferenz zwischen Reflexion und Direktschall. Fallen die Reflexionen, für die die Pegeldifferenz unterhalb dieser Schwelle liegt (hier: im Mittel 17,7dB), aus ihrer „originalen“ Richtung ein, verschwinden die auftretenden Kammfiltereffekte.

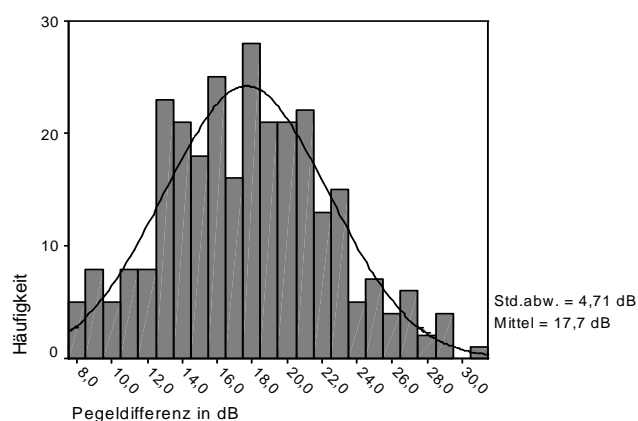


Abb. 2: Schwelle für den Einfluss auf die Klangverfärbung

### Zusammenfassung

Aufgrund psychoakustischer Messungen wurden zwei Schwellenkriterien definiert, die auf der Pegeldifferenz zwischen Reflexion und Direktschall beruhen. Diese Kriterien können in einem Auditory Display implementiert werden, um die Zahl der virtuellen Schallquellen und die Zahl der unterschiedlichen Schalleinfallrichtungen zu minimieren. Hierdurch kann der Signalverarbeitungsaufwand für die Auralisierung vermindert werden, ohne dass die Entfernungswahrnehmung eingeschränkt oder unerwünschte Klangverfärbungen erzeugt werden. Die erzielbare Verringerung des Signalverarbeitungsaufwandes ist jedoch abhängig von Raumparametern wie z.B. Raumgröße und Reflexionsfaktoren der Wände.

Zu prüfen bleibt die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Raumkonfigurationen und Eingangssignale sowie eine Implementierung der Ergebnisse in effizienteren Signalverarbeitungsstrukturen.

### Literatur

- [1] Coleman (1962). Failure to localize the source distance of an unfamiliar sound. J. Acoust. Soc. Amer. **34**, 345-346.
- [2] Jot (1992). Etude et réalisation d'un spatialisateur de sons par modèles physiques et perceptifs. Diss. Paris.