

Einfluss von Frequenz und Lautheit auf die Quellbreite

Aleksandra Pieczykolan, Ingo Witew, Michael Vorländer

Institut für Technische Akustik RWTH Aachen, 52066 Aachen, Email: aleksandra.pieczykolan@akustik.rwth-aachen.de

Einleitung

Die scheinbare Quellbreite stellt als psychoakustischer Effekt einen wichtigen Bestandteil des Räumlichkeitseindrucks dar und ist somit ein qualitatives Maß für musikalische Darbietungen in Konzertsälen. In der Raumakustik ist daher von besonderem Interesse, die Quellbreite mit objektiven Kriterien vorherzusagen zu können.

Bereits existierende Ansätze, die Quellbreite aus physikalischen Schallfeldeigenschaften mittels des Interauralen Kreuzkorrelationskoeffizienten (IACC) oder des Seitenschallgrades (LF) vorherzusagen, erreichen bisher keine konsistenten Resultate. Die Schwierigkeit besteht vor allem darin, alle relevanten Faktoren zu identifizieren, die einen Einfluss auf die wahrgenommene Quellbreite ausüben, und diese im Zusammenhang zu raumakustischen Größen zu modellieren. Untersuchungen zur Korrelation von Quellbreite mit dem IACC [1] lassen vermuten, dass sowohl der IACC wie auch die Quellbreite eine deutliche Frequenzabhängigkeit besitzen. Dies gibt Hinweis darauf, dass nicht nur Charakteristika des Schallfeldes, die sich aus der Raumimpulsantwort bestimmen lassen, eine Rolle für den Räumlichkeitseindruck spielen, sondern auch Eigenschaften des Quellsignals selbst die Quellbreitenwahrnehmung beeinflussen. Bisherige Studien haben jedoch diesen Zusammenhang nicht isoliert betrachtet. Genausowenig ist der Umstand, dass das menschliche Gehör den Schalldruckpegel frequenzabhängig bewertet, bisher berücksichtigt worden, insofern der Schalldruckpegel anstatt der Lautheit als zu kontrollierende Stimulusvariable konstant gehalten wurde.

Das im Folgenden beschriebene Experiment untersucht den Einfluss von Frequenz und Lautheit auf die menschliche Wahrnehmung der Quellbreite mittels eines Hörversuchskonzeptes, das vorhandene Effekte beider Variablen separat voneinander aufdecken kann unter vollständiger Kontrolle und Kenntnis der physikalischen Eigenschaften des Schallfeldes.

Methode

Stimuli

Um eine geeignete Experimentsituation herzustellen, wurden spezielle Stimuli generiert, die aus einem Quellanteil sowie einer konstruierten Raumimpulsantwort zusammengesetzt wurden. Die Hörsituation sollte trotz Laborbedingung einen realistischen Charakter haben, was sich in den festgelegten Stimulus- und Impulsantwortigenschaften widerspiegelt.

Der nachhallfreie Rohstimulus bestand aus terzbandge-

filtertem 1/f-Rauschen mit einer temporalen Struktur (s. Abbildung 1), die vier 150 ms langen Pulse mit zusätzlich jeweils 40 ms Anstieg und Abfall vor und nach dem Puls beinhaltete. Die Pause zwischen den Pulsen betrug ebenfalls jeweils 150 ms. Diese zeitliche Struktur erlaubt eine gute Lokalisationsschärfe bei gleichzeitiger Präsenz eines Räumlichkeitseindrucks. Aus dem einkanaligen Rohstimulus wurden durch Faltung mit einer Raumimpulsantwort achtkanalige Stimuli hergestellt.

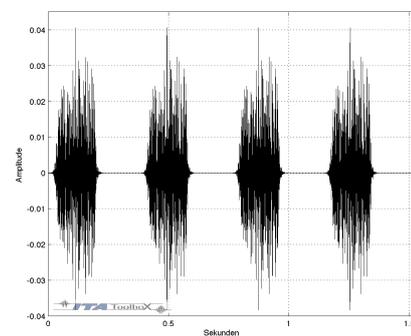


Abbildung 1: Der nachhallfreie Rohstimulus im zeitlichen Verlauf mit Pulslängen von 150 ms und ebensolangen Pausen.

Die Raumimpulsantwort bestand einerseits aus 6 Reflexionen im frühen Energieanteil, welche mit einer bestimmten zeitlichen Verzögerung und Dämpfung relativ zum Direktschall aus verschiedenen Einfallsrichtungen erfolgten (s. Abbildung 3). Außerdem wurde ein Nachhall simuliert, der aus exponentiell abfallendem weißen Rauschen bestand und dessen Dauer mit 1,95 s der Nachhallzeit eines üblichen Konzertsaals entsprach. Das Klarheitsmaß C_{80} wurde zu 4 dB festgesetzt, was einen Wert am oberen Rand des üblichen Bereichs für klassische Musikdarbietungen bedeutet, so dass ein verhältnismäßig klares Signal erzeugt wurde, um die Lokalisierungsauflösung durch den späten Energieanteil der Impulsantwort wenig zu beeinträchtigen. Zur Bestimmung der Lautheit aus dem Schalldruckpegel wurde das Verfahren nach DIN 45631/A1 [2] verwendet. Damit wurden die Lautheiten auf die gewünschten Werte angepasst.

Prozedur

Der Versuchsaufbau bestand aus acht im Kreis angeordneten Lautsprechern im reflexionsarmen Raum, wie in Abbildung 2 dargestellt. Die Versuchsperson saß während des Versuchs in der Mitte der Lautsprecher mit Blick auf die Herkunftsrichtung des Direktschalls. Zur Einstellung der Quellbreite diente eine LED-Leiste mit 64 horizontal angeordneten LEDs im Abstand von 4-5 Grad, so dass mit einem symmetrischen Lampenpaar ein Bereich

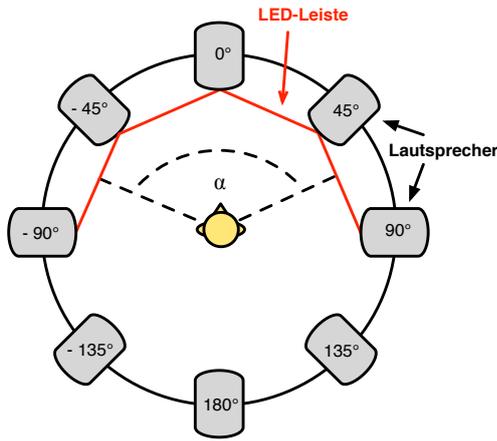


Abbildung 2: Lautsprecherverteilung im Experiment.

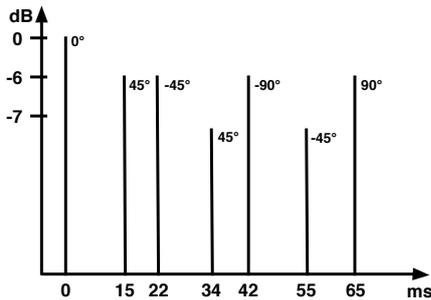


Abbildung 3: Reflexionen in der Impulsantwort mit zeitlicher Verzögerung und Dämpfung relativ zum Direktschall.

der Leiste markiert werden sollte, der die wahrgenommene Quellbreite bezeichnete. Daraus wurde ein Winkel berechnet, der die abhängige Variable im Versuchsplan darstellte. Als unabhängige Variablen dienten Frequenz und Lautheit, was in einem vollständigen Versuchsplan zu 6 verschiedenen Versuchsbedingungen führte. Die untersuchten Frequenzbänder hatten die Mittenfrequenzen 500 Hz, 1000 Hz und 2000 Hz, während die Lautheiten 50 phon und 60 phon betragen.

28 Probanden mit audiometrisch überprüfem Hörvermögen durchliefen alle Versuchsbedingungen, wobei jeder Stimulus insgesamt 14 Mal präsentiert wurde. Die Reihenfolge der resultierenden 84 Stimuli wurde für jeden Probanden randomisiert.

Ergebnisse

Tabelle 1 enthält die experimentell gefundenen Mittelwerte mit Standardfehler, die in Abbildung 4 grafisch dargestellt sind. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse ergab sowohl für die Frequenz ($F(1.198,31.155) = 13.164$, $p \leq .001$, $\eta_p^2 = .336$) als auch für die Lautheit ($F(1, 26) = 43.173$, $p \leq .001$, $\eta_p^2 = .624$) einen hochsignifikanten Effekt. Paarweise Vergleiche lieferten hochsignifikante Unterschiede zwischen 500 Hz und 1000 Hz ($F(1, 26) = 38.226$, $p \leq .001$, $\eta_p^2 = .595$), sowie zwischen 500 Hz und 2000 Hz ($F(1, 26) = 11.422$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .305$). Der Unterschied zwischen 1000 Hz und 2000 Hz ist nicht signifikant ($F < 1$, $p = .802$), was bedeutet, dass vor allem die Differenz zwischen 500 Hz und den anderen beiden

Tabelle 1: Empirische Mittelwerte aller 6 Versuchsbedingungen mit dazugehörigem Schätzwert des Populationsparameters Standardfehler.

| Lautheit | Frequenz | | |
|----------|------------|------------|------------|
| | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz |
| 50 phon | 36,6 (4,0) | 26,1 (2,6) | 27,5 (2,8) |
| 60 phon | 57,8 (5,7) | 45,5 (4,7) | 43,0 (4,5) |

Frequenzen zum Effekt beiträgt. Eine Interaktion ist statistisch zwar signifikant ($F(2, 52) = 3.57$, $p = .035$, $\eta_p^2 = .121$), allerdings inhaltlich nicht begründbar, da im Experiment eine minimale Schrittweite von 4 Grad auf der LED-Leiste einstellbar war, so dass ein Unterschied von 2 Grad in der Quellbreite keine Aussagekraft hat.

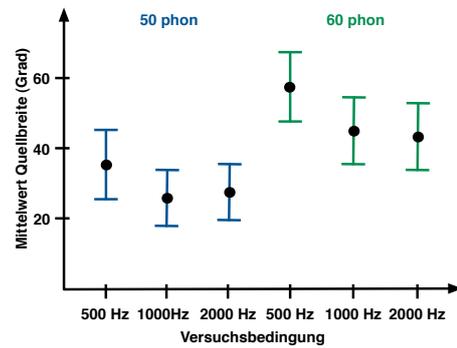


Abbildung 4: Punkte markieren den jeweiligen Mittelwert der Versuchsbedingung, Fehlerbalken kennzeichnen ± 1 Standardfehler.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Quellbreitenwahrnehmung durchaus von Quellsignaleigenschaften wie Frequenz und Lautheit beeinflusst wird und es nicht ausreicht, lediglich die Raumimpulsantwort als Grundlage zur Vorhersage heranzuziehen. In Zukunft könnte ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Quellbreite und Frequenz modelliert werden, der mit Messungen des Seitenschallgrades oder des IACC für bestimmte Frequenzen verglichen werden sollte. Der hier gefundene Lautheitseffekt impliziert, dass bisherige Experimente zur Korrelation von Quellbreite und IACC oder LF, die den Schalldruckpegel der Stimuli konstant hielten, mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Bias in den Versuchsergebnissen beinhalten, insofern bei verschiedenen Frequenzen auch unterschiedliche Lautheiten wahrgenommen wurden.

Literatur

- [1] Morimoto, M. und Iida, K.: Appropriate frequency bandwidth in measuring interaural cross-correlation as a physical measure of auditory source width. *Acoustical Science and Technology* 26 (2005), 179-184
- [2] DIN 45631/A1: Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum - Verfahren nach E. Zwicker - Änderung 1: Berechnung der Lautheit zeitvarianter Geräusche (2010)