Validierung des Entfernungsgesetzes und Korrektur der Gruppenlaufzeit und des akustischen Zentrums des Lautsprechers im Adrienne-Verfahren

Stefan Fuhs[1], Robert Höldrich[1], Gerhard Tomberger[2]

[1] *Institut für Elektronische Musik und Akustik, Inffeldgasse 10/3, 8010 Graz, Österreich, Email: fuhs@iem.at, hoeldrich@iem.at*

[2] *Dr. Tomberger Ziviltechniker GmbH, Schubertstraße 72, 8010 Graz, Österreich, Email: office@tomberger.at*

Einleitung

Das Adrienne-Verfahren zur In-Situ Messung der akustischen Eigenschaften von Materialien war in letzter Zeit viel Kritik ausgesetzt. Eine notwendige Revision soll die Vorteile dieses Messsystems nutzbar machen.

Die Berechnung des Reflexionsindexes im Adrienne-Verfahren berücksichtigt die Ausbreitungsdämpfung durch eine Multiplikation der Impulsantwort mit der zugehörigen Schallausbreitungszeit. Der Einfluss des Lautsprechers verursacht jedoch eine zusätzliche zeitliche und örtliche Verschiebung des Schallzentrums. Des weiteren basiert das Adrienne-Verfahren auf der Ausbreitungsdämpfungstheorie einer idealen Punktschallquelle. Besonders wichtig ist hier das Entfernungsgesetz, das der Theorie der Betrachtung des Lautsprechers als Kolbenmembran gegenübergestellt wird.

Validierung des Entfernungsgesetzes

Das Adrienne-Verfahren geht von der Schallausbreitung einer idealen Punktschallquelle aus, demzufolge der Schalldruck umgekehrt proportional zur Entfernung ist. In der Praxis ist der Lautsprecher jedoch keine ideale Punktschallquelle, was hauptsächlich von der Größe des Lautsprechers (Lautsprechermembran), dem Abstand zum Aufpunkt und der Frequenz abhängt. Wird der Lautsprecher in Anlehnung an die Theorie einer Kolbenmembran betrachtet, so ergeben sich Schalldruckschwankungen im Nahfeld des Lautsprechers, die von einer 1/r-Schalldruckabnahme erheblich abweichen.

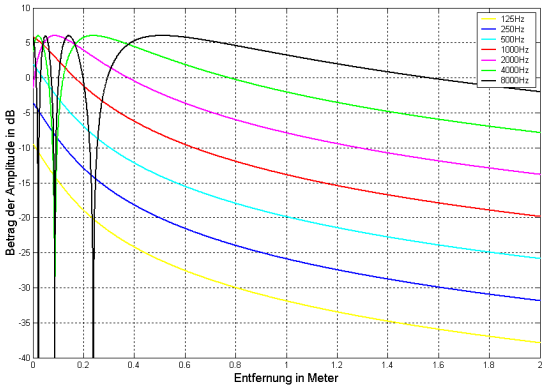

Abbildung 1: Betrag des Schalldrucks auf der Mittelachse der Kolbenmembran mit dem Radius a=1.5m - Oktavband

Vergleicht man nun die Amplituden bei den Abständen 1,25 m und 1,75 m, die dem Ausbreitungsweg des Direktschalls und der Wandreflexion vom Lautsprecher zum Mirkofon im Adrienne-Verfahren entsprechen, so zeigt sich folgendes: Die Ausbreitungsdämpfung einer Kolbenmembran ist unter 1000 Hz um ca. 0,02 dB kleiner als die einer idealen Punktschallquelle. Zu höhere Frequenzen hin steigt dieser Unterschied auf 0,3 dB an. Es folgt daraus, dass die Wandreflexion im Adrienne-Verfahren überschätzt und somit der Absorptionsgrad unterschätzt wird.

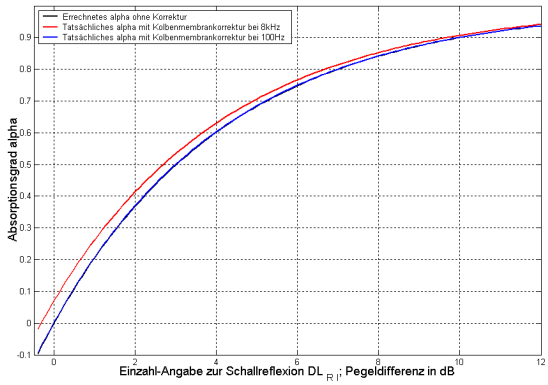

Abbildung 2: Auswirkungen der zu geringen Ausbreitungsdämpfung im Kolbenmembranmodell auf den im Adrienne-Verfahren ermittelten Absorptionsgrad.

In einer Versuchreihe wurde der Schalldruck des Lautsprechers bei verschiedenen Abständen gemessen. Bringt man diese Schalldrücke unter Berücksichtigung der jeweiligen Ausbreitungswege zueinander ins Verhältnis, so ergibt sich die in Abbildung 3 dargestellte Abweichung von der idealen 1/r Ausbreitungsdämpfung in Prozent.

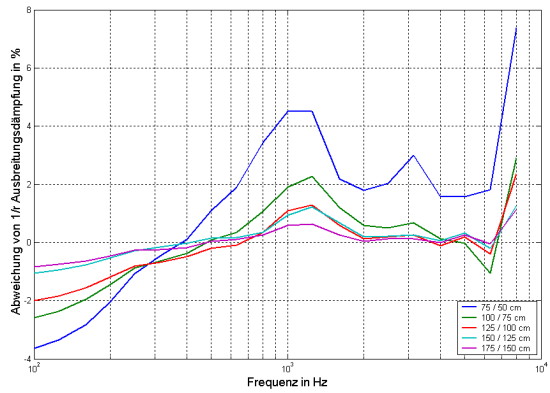

Abbildung 3: Abweichung des Lautsprechers von der idealen 1/r Ausbreitungsdämpfung in Prozent, bei verschiedenen Abstandsverhältnissen.

In den jeweiligen Entfernungen von Lautsprecher zum Mikrofon wurde gem. Vornorm ÖNORM CEN/TS 1793-5

(Adrienne-Verfahren) [1] der zusätzliche Ausbreitungsweg durch die eigentliche Schallentstehung im akustischen Zentrum nicht mitberücksichtigt.

Gruppenlaufzeit und akustisches Zentrum des Lautsprechers

Um die Impulsantworten des von der Wand reflektierten Schalls mit dem Direktschall ins Verhältnis setzen zu können, bedarf es einer Multiplikation der Impulsantworten mit der Schallausbreitungszeit. Geht man von der idealen Vorstellung einer Punktschallquelle aus, so hat diese bei allen Frequenzen das selbe akustische Zentrum und keine Gruppenlaufzeit. Diese beide Größen sind beim realen Lautsprecher frequenzabhängig, und resultieren in einer Gesamtverzögerungszeit.

Im Adrienne-Verfahren sind alle Abstände mit einer Messunsicherheit von höchstens 1% ihres Sollwertes zu messen. Die Lage des akustischen Zentrums und der damit verbundene zusätzliche Schallausbreitungsweg liegt in der Größenordnung dieser Messunsicherheit. Die örtlichen Unterschiede der Schallentstehung müssen daher frequenzabhängig in die Schallausbreitungszeit eingehen. Die Tatsache, dass der Lautsprecher nicht bei allen Frequenzen gleich schnell zum Schwingen angeregt werden kann, verursacht eine frequenzabhängige Gruppenlaufzeit. Dieser zeitliche Versatz der Schallabstrahlung darf jedoch nicht als Schallausbreitungszeit in den Korrekturvektor einfließen. Die Problematik besteht nun darin festzustellen, welche Verzögerung von der örtlichen Verschiebung des akustischen Zentrums stammt und welche Verzögerung der Gruppenlaufzeit des Lautsprechers zuzuschreiben ist.

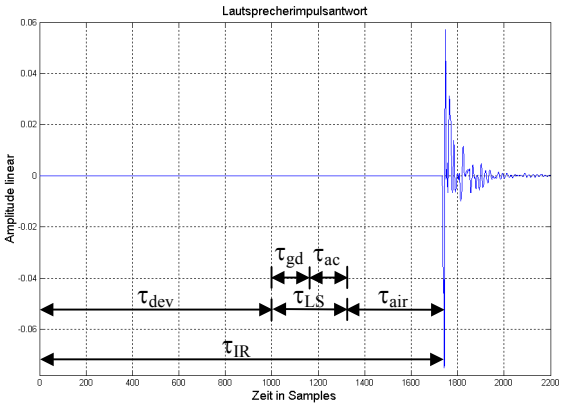

Abbildung 4: Laufzeiten in der Messkette
τ_{dev}: Laufzeit des Audiointerfaces
τ_{IR}: Gesamtverzögerungszeit der Impulsantwort
τ_{air}: Schallausbreitungszeit in der Luft
τ_{LS}: Gesamtlaufzeit des Lautsprechers
τ_{gd}: Gruppenlaufzeit des Lautsprechers
τ_{ac}: Ausbreitungszeit des akustischen Zentrums

Die frequenzabhängige Gesamtlaufzeit des Lautsprechers berechnet sich aus $\tau_{LS} = \tau_{IR} - \tau_{dev} - \tau_{air}$ und liegt oberhalb von 300 Hz im Bereich von 0,35 bis 0,7 ms. Unterhalb von 300 steigt τ_{LS} auf ca. 1,5 ms an.

Die örtlichen Verschiebung der Schallentstehung (d_{ac}) wird im Messaufbau (Abbildung 5) ermittelt. Der Abstand von den Mikrofonen zum Lautsprecher muss jedoch so groß sein, dass das 1/r Ausbreitungsgesetz gültig ist.

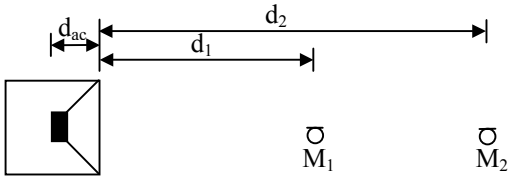

Abbildung 5: Messaufbau zur Bestimmung der Lage des akustischen Zentrums im Lautsprecher.

$$d_{ac} = \frac{d_1 - d_2 \cdot 10^{\frac{L_{M2} - L_{M1}}{20}}}{10^{\frac{L_{M2} - L_{M1}}{20}} - 1} \qquad (1)$$

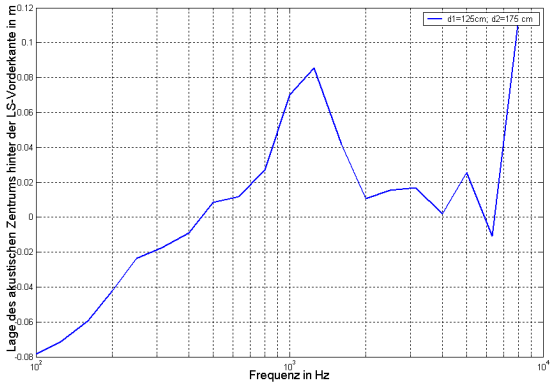

Abbildung 6: Lage des akustischen Zentrums hinter der Lautsprechervorderkante - Messabstände 125 und 175cm

In Abbildung 6 entspricht die Schallausbreitung zwar annähernd einer idealen Punktschallquelle, jedoch sind die Kanteneffekte des Lautsprechers so stark ausgebildet dass die Lage des akustischen Zentrums bei tiefen Frequenzen vermeintlich vor dem Lautsprechergehäuse liegt [2]. Geeignetere Lautsprecherchassisformen bringen an dieser Stelle deutlich bessere Ergebnisse. Liegt das akustische Zentrum um 10 cm hinter der Lautsprechervorderseite so verursacht eine Nichtberücksichtigung der zusätzlichen Laufzeit eine Überschätzung des Absorptionsgrades um 0,05 bei reflektierenden Wänden.

Zusammenfassung

Die max. lt. Adrienne-Verfahren zulässige Messunsicherheit der Abstände des Messaufbaus liegen in der Größenordnung der Verschiebung des akustischen Zentrums. Um die Lage des akustischen Zentrums des Lautsprechers zu bestimmen, bedarf es kleinerer Lautsprecher mit geeigneteren Chassisformen die Kanteneffekte unterdrücken.

Literatur

[1] Vornorm ÖNORM CEN/TS 1793-5, "Lärmschutzeinrichtungen an Strassen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften" 2003;

[2] Urban M., et al: "The Distributet Edge Dipole (DED) Model for Cabinet Diffraction Effects". J. Acoust. Soc. Am., Vol. 52 No. 10. p.1043, Oct 2004