Korrektur der Lautsprecherrichtcharakteristik 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. Dazu zählt ganz eindeutig der Einfluss der Richtcharakteristik des Lautsprechers auf das Messergebnis. Die Tatsache, dass die vom Mikrofon erfassten Signale unterschiedlichen Abstrahlrichtungen des Lautsprechers entstammen, macht eine Korrektur der Lautsprecherrichtcharakteristik notwendig.

In der präsentierten Arbeit werden diese Korrekturfaktoren sowohl vereinfacht für die geometrische Reflexion zwischen Lautsprecher, Materialprobe und Mikrofon, als auch detaillierter, wellentheoretisch für die gesamte Reflexionsfläche mit Kirchhoff-Helmholtz berechnet.

Die Problematik der Richtcharakteristik des Lautsprechers im Adrienne-Verfahren

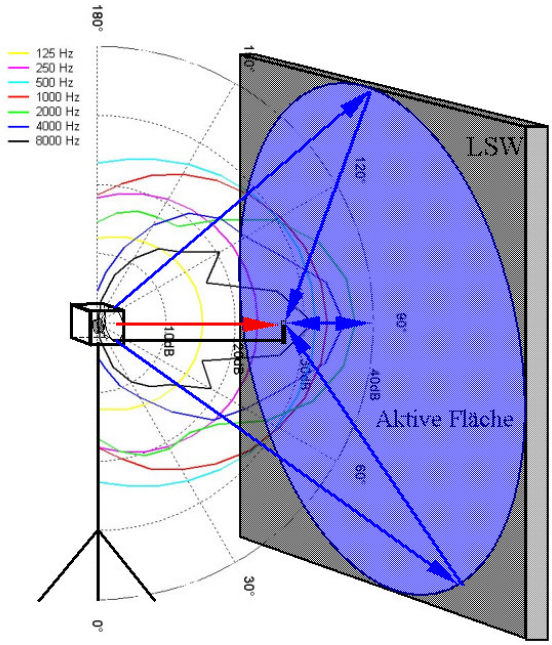

Abbildung 1: Ausbildung der aktiven Fläche auf der LSW in Folge der Adrienne-Zeitfensterung der Impulsantwort der Wandreflexion; Beschallung der aktiven Fläche mit der Richtcharakteristik des Lautsprechers;

Die Messung der akustischen Eigenschaften (Schallreflexion und Luftschalldämmung) von Lärmschutzwänden wird gem. der Vornorm ÖNORM CEN/TS 1793-5 (Adrienne-Verfahren) [1] vor Ort bei verschiedenen Schalleinfallswinkeln durchgeführt. Die Impulsantworten des Direktschalls und der Wandreflexion werden mit dem Adrienne-Zeitfenster von störenden Reflexionen befreit. Die Breite des Adrienne-Zeitfensters mit der die Wandreflexion aus der gesamten Impulsantwort herausgeschnitten wird, begrenzt auch die Ausdehnung der abgetasteten Fläche (aktive Fläche) auf der Lärmschutzwand. Nur die Schallreflexion auf der aktiven Fläche, die in der Richtung der Symmetrieachse des Lautsprechers liegt, kann mit dem Direktschall unkorrigiert ins Verhältnis gebracht werden. Alle anderen Schallreflexionen der aktiven Fläche sind mit der jeweiligen Richtcharakteristik des Lautsprechers beaufschlagt, und müssen dementsprechend korrigiert werden.

Wellentheoretische Korrektur der Richtcharakteristik des Lautsprechers

Die wellentheoretische Berechnung basiert auf dem Huygen-Fresnel'schen Prinzip welches besagt, dass jeder Punkt einer Wellenfläche wieder Ausgangspunkt einer sekundären kugelförmigen Elementarwelle ist. Die Einhüllende dieser Elementarwelle bildet wieder eine neue Wellenfläche [2,3]. Mit Hilfe des Green'schen Satzes gelangt man zum Kirchhoff-Helmholtz Integral (KHI) und weiterer Folge zur vereinfachten Feldbeschreiben mit den Rayleigh Integralen. Das Rayleigh Integral 1 besagt, dass das Wellenfeld mit einer virtuellen Monopolquellenverteilung auf der Hüllfläche synthetisiert werden kann. Die Intensität jeder Monopolquelle in der Hüllfläche ergibt sich durch die von der primären Quelle ausgehende Normalschnelle im jeweiligen Punkt der Fläche [4,5].

Im Berechnungsmodell entspricht die Primärquelle zunächst einer idealen Punktschallquelle. In jeder kleine Teilfläche der diskretisierten aktive Fläche der Lärmschutzwand resultiert daraus eine Normalschnelle. Die reflektierte Welle wird nun durch die Einhüllende der vielen Sekundärquellen beschrieben und mit Hilfe des Rayleigh Integrals 1 zu einem im Mikrofonpunkt empfangenen Summenschalldruck berechnet.

Führt man nun den Lautsprecher als Primärquelle ein, so wird jede Teilfläche auf der Lärmschutzwand unter einem bestimmten Abstrahlwinkel des Lautsprechers beschallt. Die messtechnisch erfasste Richtcharakteristik des Schalldrucks des Lautsprechers wird in jedem Terzband auf die Hauptabstrahlrichtung normiert (vereinfachtes Modell vernachlässigt die Phasenbetrachtung) und der zugehörigen Teilfläche der aktiven Fläche zugewiesen. Bevor nun der Summenschalldruck im Mikrofonpunkt mit dem Rayleigh-Integral 1 berechnet wird, gewichtet man jede Sekundärquelle mit der jeweiligen normierten

Richtcharakteristik. Bildet man in jedem Terzband das Verhältnis des empfangenen Summenschalldrucks aus der idealen Punktschallquelle und Lautsprecherquelle, so erhält man den frequenzabhängigen Faktor für die wellentheoretische Korrektur der Lautsprecherrichtcharakteristik. Dieser wird nun mit dem Schalldruck der Wandreflexion multipliziert.

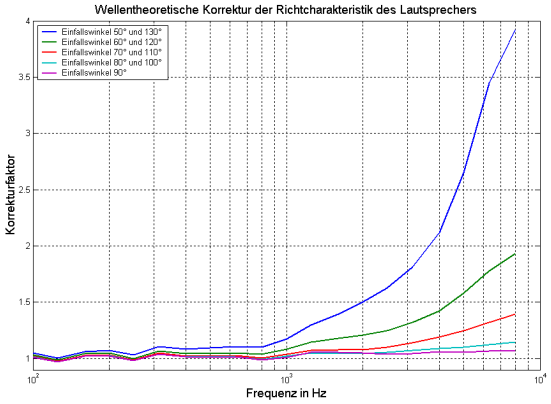

Abbildung 2: Korrekturfaktoren für die wellentheoretische Korrektur der Richtcharakteristik des Lautsprechers

Geometrische Korrektur der Richtcharakteristik des Lautsprechers

Eine einfachere, jedoch etwas ungenauere Berechnung der Korrekturfaktoren für die Lautsprecherrichtcharakteristik ergibt sich, wenn man nur die geometrische Reflexion an der Wand betrachtet. Beschallt man die Lärmschutzwand beispielsweise unter einem Schalleinfallswinkel von 50°, so erfolgt die geometrische Reflexion an der Lärmschutzwand unter einem Winkel von 18,5° zur Symmetralen des Lautsprechers. Die bei bestimmten Winkeln gemessene Richtcharakteristik des Lautsprechers wird bei den Abstrahlwinkeln unter denen die geometrische Reflexion vom Lautsprecher über die Reflexionsfläche zum Mikrofon läuft interpoliert. Normiert man den so erhaltenen Wert mit dem Wert der Hauptabstrahlrichtung (Direktschall), so ergeben sich die Faktoren für die geometrische Korrektur der Lautsprecherrichtcharakteristik.

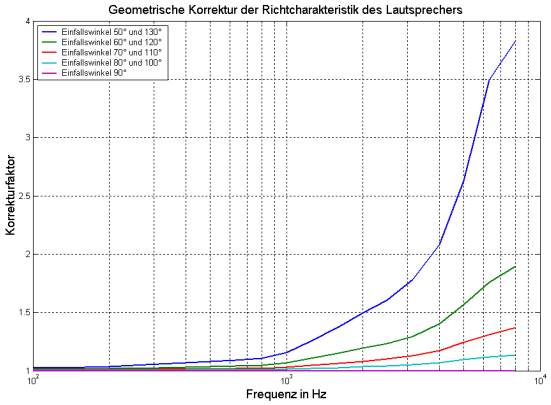

Abbildung 3: Korrekturfaktoren für die geometrische Korrektur der Richtcharakteristik des Lautsprechers

Vergleich

Die geometrische und wellentheoretische Korrektur liefern ähnliche Ergebnisse, wobei bei Letzterer der Einfluss der Richtcharakteristik in den Randbereichen der Prüffläche deutlich wird. Die Anwendung der Korrekturfaktoren auf eine unstrukturierte Reflexionsfläche zeigt, dass der gemessene Reflexionsgrad der untersuchten Prüfeinrichtung unter Berücksichtigung der Korrektur der Lautsprecherrichtcharakteristik zunimmt.

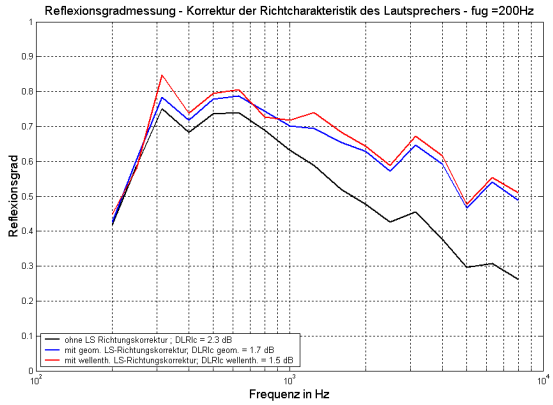

Abbildung 4: Anwendung der geometrischen und wellentheoretischen Korrekturfaktoren auf eine unstrukturierte Reflexionsfläche

Für Prüfobjekte mit einer strukturierten Oberfläche kann aus theoretischen Überlegungen heraus nur der wellentheoretische Ansatz richtige Ergebnisse zur Korrektur der Lautsprecherrichtcharakteristik liefern.

Zusammenfassung

Bei Nichtbeachtung der Korrektur der Lautsprecherrichtcharakteristik ergibt sich ein systematischer Fehler. Die Einzahl-Angabe zum Reflexionsgrad (DL_{RI}) wird bis zu 1 dB und der Absorptionsgrad um ca. 0,2 überschätzt. Für unstrukturierte Oberflächen liefert die geometrische Korrektur eine ausreichende Genauigkeit.

Literatur

[1] österreichisches Normungsinstitut, Vornorm ÖNORM CEN/TS 1793-5, "Lärmschutzeinrichtungen an Strassen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften; Teil 5: Produktionsspezifische Merkmale – In-situ-Werte der Schallreflexion und der Luftschalldämmung", Ausgabe 2003-10-01

[2] Berkhout A. J., de Vries D. und Vogel P.: "Acoustic control by wave field synthesis". J. Acoust. Soc. Am., Vol. 93 No. 5. p.2764, 1993.

[3] Berkhout A. J.: "A Holographic Approach to Acoustic Control". J. Audio eng. Soc., Vol. 36, No. 12, p. 977, 1988.

[4] Vogel P.: „Application of Wave Field Synthsis in Room Acoustics". Thesis, TU-Delft, Niederlande, 1993

[5] Verheijen E.: "Sound Reproduction by Wave Field Systnesis". Thesis, TU-Delft, Niederlande 1998