

Aufsätze für Schallschirme – verschieden abgestimmte Resonatoren

R. Volz, M. Möser; Institut für Technische Akustik, Technische Universität Berlin

1. Einleitung

Am Institut für Technische Akustik der TU Berlin werden seit 1995 theoretische und praktische Untersuchungen zur möglichen Verbesserung der Abschirmwirkung von Schallschirmen durch Maßnahmen im Bereich der Schirmoberkante untersucht (s.a. zweiter Beitrag auf dieser DAGA mit der dazugehörigen Literatur). Verbesserungen sind in Frequenzbereichen betragsmäßig kleiner Impedanz zu erwarten (z.B. durch Resonatoren). Da systembedingt bei Resonatoren auch Bereiche der Impedanz auftreten, in denen eine Verschlechterung durch die Funktionsweise des Aufsatzes auftritt (z.B. bei Steifverhalten der Impedanz), stellte sich die Frage, ob sich diese Nachteile dadurch ausgleichen lassen, indem man die Resonatoren über dem Schallweg verschieden abstimmt, wie das bei einem $\lambda/4$ -Resonator z.B. durch unterschiedliche Rohrlängen leicht möglich ist. Dieser Weg wurde auch an anderer Stelle bereits besprochen [1,2]. Es fanden Simulationsrechnungen für eine unterschiedliche Anzahl von verschiedenen Rohrlängen innerhalb eines Aufsatzes statt, einschließlich einer Rohrlängenabfolge, die der Aufsatzkonstruktion aus [2] entspricht. Zur Beurteilung der Wirksamkeit der Aufsätze wurde ein typisches Güterzugspektrum und die Abschirmwirkung einer Wand aus Messungen sowie in Anlehnung an VDI 2720 verwendet.

2. Berechnungen

Zur Berechnung der Abschirmwirkung des Aufsatzes auf einer Schallschutzwand wurde als zweidimensionales Modell eine halbunendliche Schneide mit aufgesetztem Zylinder mit einer ortsabhängigen Impedanz Z auf der Zylinderoberfläche und eine weit entfernte Linienquelle gewählt. Bodenreflexionen wurden daher nicht berücksichtigt. Dabei wurde das obere Kreissegment in einem Winkelbereich von 126° mit einer lokal reagierenden Impedanz Z belegt, die das Frequenzverhalten bezüglich der Tiefenresonanzen der $\lambda/4$ -Resonatoren berücksichtigt. Der restliche Zylinderumfang wurde als schallhart angesetzt. Das obere Kreissegment wurde in sieben äquidistante Teilstücke (je 9°) zerlegt, für die verschiedene Rohrlängen angenommen wurden (Fig. 1). Die jeweilige Oberflächenimpedanz Z ergibt sich mit $Z = -j(\rho c) \text{ctg}(ka_n)$, (ρc : Luftschallkennimpedanz, k : Wellenzahl, a_n : freie Rohrlängelänge). Um die in der Praxis vorhandene geringe Dämpfung zu berücksichtigen, wurde der Realteil der Impedanz frequenzunabhängig zu $0,05\rho c$ gesetzt. Querresonanzen wurden vernachlässigt. Mit diesen Modellannahmen ließ sich auch der von Fujiwara [2] erwähnte Aufsatz (Fig. 2) auf einfache Art simulieren. In Anlehnung an diesen Aufsatz wurde der Zylinderdurchmesser auf 580 mm festgelegt. Im Frequenzbereich von 180 bis 2800 Hz wurde an 40 (bis 1400 Hz) bzw. 80 äquidistant verteilten Punkten auf der Zylinderoberfläche die Erfüllung der Randbedingungen von Druck und Schnelle bezüglich der Impedanz gefordert. Pro Terzband wurden 100 Frequenzstützstellen berücksichtigt.

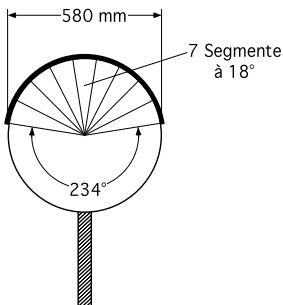


Fig. 1 Aufsatzgeometrie

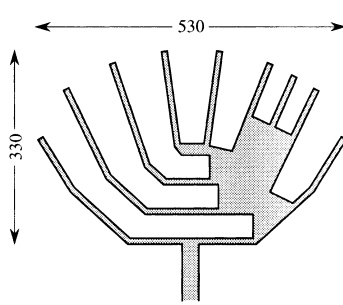


Fig. 2 Aufsatz aus [2]

Um die Wirkung der verschiedenen Aufsätze beurteilen zu können, wurde eine Anordnung in Anlehnung an eine Bahnstrecke angenommen. Die Schallschutzwand hatte eine Höhe von 2 m (inkl. Aufsatz), und die Quelle befand sich im Abstand von 4 m von der Wand. Es wurden 21 Aufpunkte im Abstand von 15 bis 25 m betrachtet (mittlerer Beugungswinkel $\beta \approx 20^\circ$, Fig. 3).

Das Verbesserungsmaß VBM der Wand mit einem Aufsatz entsprechender Oberflächenimpedanz im Vergleich zu einer Wand mit einem schallharten Aufsatz gleicher Geometrie wurde in Terzbandern berechnet, um die Verbesserung durch die Wirkungsweise des Aufsatzes zu erfassen. Es fand eine Mittelung über alle Empfangspunkte statt. Als Anregespektrum diente eine Mittelung aus 42 Güterzugvorbeifahrten (Quelle: Forschungszentrum Deutsche Bahn (FTZ DB),

Fig. 4). Für das Abschirmmaß D_W einer einfachen 2 m hohen Wand wurde ein gemittelter Wert für alle Empfangspunkte in Anlehnung an VDI 2720 (Wand 1) sowie Meßwerte (Wand 2, Werte vom FTZ DB) verwendet (Fig. 5).

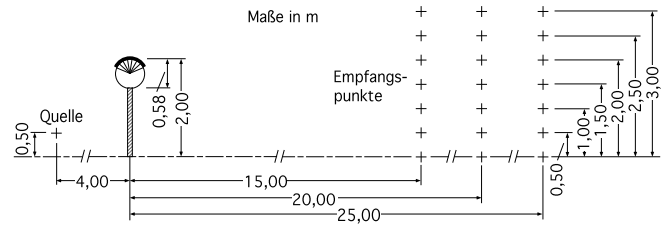


Fig. 3 Anordnung der Quell- und Empfangspunkte

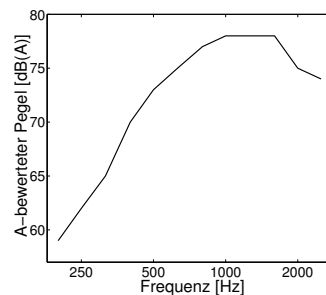


Fig. 4 Güterzugspektrum L_{GzA}

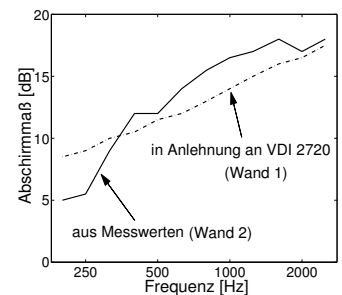


Fig. 5 Abschirmmaß D_W

So konnte für die betrachteten Terzbander und beide Wände ein mittlerer A-bewerteter Pegel für alle Empfangspunkte L_{EoA} ermittelt werden, bei dem die Wirkungsweise des Aufsatzes nicht berücksichtigt ist (d.h. schallharter Aufsatz) und der sich nach

$$L_{EoA1} = L_{GzA} - D_{W1} \quad \text{für Wand 1 bzw.}$$

$$L_{EoA2} = L_{GzA} - D_{W2} \quad \text{für Wand 2}$$

ergibt. Dieser läßt sich mit dem mittleren A-bewerteten Pegel für alle Empfangspunkte L_{EmA} mit Berücksichtigung der Aufsatzwirkung nach

$$L_{EmA1} = L_{GzA} - D_{W1} - VBM \quad \text{für Wand 1 bzw.}$$

$$L_{EmA2} = L_{GzA} - D_{W2} - VBM \quad \text{für Wand 2}$$

vergleichen. Dabei ergibt sich das VBM aus

$$VBM = L_{\text{(Aufsatz schallhart)}} - L_{\text{(Aufsatz mit Resonatoren)}}.$$

Um einen Einzahlwert als Beurteilungsgröße für die Aufsatzwirkung zu erhalten, wurde der A-bewertete Summenpegel über alle betrachteten Terzen aus L_{EoA1} , L_{EoA2} , L_{EmA2} und L_{EmA1} ermittelt und die jeweilige Pegeldifferenz dL gebildet. Diese Pegeldifferenz dL (betrachtet für beide Wandvarianten) repräsentiert die Reduzierung des A-bewerteten Summenpegels durch die Wirkungsweise des Aufsatzes (bezogen auf das anregende Geräusch und die gewählte Geometrie von Quelle, Wand und Aufpunkten) und war die Beurteilungsgröße, die in den Parametervariationen (d.h. Rohrlängenverteilungen) verwendet wurde. Dabei stand die Frage im Vordergrund, wieviel verschiedene Rohrlängen notwendig sind und wie groß die erreichbare Pegelminderung durch den Aufsatz sein kann. Außerdem sollte geklärt werden, wie groß die Pegelminderung unter den vorgegebenen Bedingungen für den Aufsatz aus [2] ist.

In Fig. 6 bis Fig. 17 ist jeweils der A-bewertete Pegel (gemittelt über alle Empfangspunkte mit und ohne wirksamem Aufsatz (d.h. L_{EoA1} und L_{EmA1} , sowie L_{EoA2} und L_{EmA2})) und die Pegeldifferenz der Summenpegel dL dargestellt. Es werden insgesamt fünf verschiedene Aufsatzvarianten vorgestellt, die jeweils das Optimum aus den Simulationsreihen für die vorgegebene Geometrie und das Anregespektrum darstellen. Fig. 6 und 7 zeigen die Ergebnisse für gleiche Rohrlängen (alle Röhren 180 mm lang). Fig. 8 bis 13 zeigen die Ergebnisse für zwei unterschiedliche Rohrlängen in drei verschiedenen Varianten. In der ersten Variante waren 4 der oberen Teilstücke 200 mm lang (d.h. links, bzw. quellseitig, s.a. Fig. 1,3) und 3 130 mm lang (Fig. 8 und 9). In der zweiten Variante wechselten die Rohrlängen (Fig. 10,11). In der dritten Variante folgte 3×130 mm und 4×200 mm, d.h. im Vergleich zu Variante eins wurde die Abfolge getauscht (Fig. 14,15). Fig. 16 und 17 zeigen die Ergebnisse der Rohrlängenverteilung in Anlehnung an den Aufsatz aus [2] mit fünf unterschiedlichen Rohrlängen.

3. Ergebnisse der Simulationen

Betrachtet man Fig. 6 und 7, erkennt man das typische Verhalten des Frequenzgangs eines $\lambda/4$ -Resonators bedingt durch sein Impedanzverhalten: unterhalb von f_0 (≈ 450 Hz) tritt Steifverhalten der Impedanz auf. Dies führt (bereits ab einem sehr kleinen Betrag der Impedanz) zu Verschlechterungen der Abschirmwirkung. Oberhalb dieses Bereiches treten Verbesserungen auf, bis sich das Verhalten beim Durchlaufen der nächsthöheren Resonanz ($f_1 \approx 1400$ Hz) wiederholt. Die Pegeldifferenz dL im A-bewerteten Summenpegel mit und ohne Aufsatzwirkung beträgt je nach Wand in diesem Fall -2,2 bzw. -1,8 dB. Setzt man nun zwei unterschiedliche Rohrlängen an, wie in Fig. 8 und 9 (4 Teilstücke 200 mm, $f_0 \approx 400$ Hz und 3 Teilstücke 130 mm, $f_0 \approx 650$ Hz), so läßt sich die negative Wirkung der langen Röhren unterhalb von f_1 (≈ 1300 Hz) durch das Verhalten der kurzen Röhren ausgleichen. Die negative Wirkung unterhalb der ersten Resonanz f_0 der langen Röhre (d.h. unter 400 Hz) bleibt jedoch bestehen. Für den A-bewerteten Summenpegel ist dieser Bereich jedoch von untergeordneter Bedeutung. Im Vergleich zu den gleichlangen Röhren (Fig. 6,7) ist dL auf -3,4 bzw. -2,7 dB gesunken. Fig. 10 bis 13 zeigen, daß die Abfolge der Rohrlängen und damit die Reihenfolge der Impedanzen über dem Umfang eine wichtige Rolle spielt. Fig. 10 und 11 zeigen die Ergebnisse für eine wechselnde Abfolge der Rohrlängen über die sieben Teilstücke (200, 130, 200, ..., 200 mm). dL beträgt hier nur noch -3,2 bzw. -2,5 dB. Fig. 12 und 13 stellen den umgekehrten Fall zu Fig. 8 und 9 dar: hier beträgt die Abfolge 3×130 mm und 4×200 mm. Damit folgt eine weitere Reduzierung von dL auf -3,0 bzw. -2,4 dB. Dagegen steigert der Übergang zu drei verschiedenen Rohrlängen (Fig. 14,15) dL auf -3,7 bzw. -3,1 dB. Hier ist die Abfolge 1×250 mm, 3×190 mm und 3×120 mm. Ein positiver Effekt durch die 250 mm Röhre ist die Reduzierung der Verschlechterungen unter 300 Hz. Als letztes sind die Ergebnisse für die Rohrlängenabfolge des Aufsatzes aus [2] angegeben (430, 340, 260, 2×160 , 90, 160 mm;

Fig. 16,17). dL beträgt hier -3,6 bzw. -3,2 dB. Wie durch den Anteil an längeren Röhren zu erwarten ist, tritt bei tiefen Frequenzen (in dem berechneten Frequenzbereich) keine nennenswerte Verschlechterung mehr auf, da die tiefste Resonanz f_0 für die längste Rohrlänge (430 mm) bei ≈ 200 Hz liegt.

4. Zusammenfassung

Die Simulationen zeigen, daß es möglich ist, durch unterschiedliche Abstimmung der Resonatoren (bei $\lambda/4$ -Resonatoren über die Rohrlänge) über dem Umfang eines Aufsatzes für Schallschutzwände die zusätzliche Abschirmwirkung breitbandig zu erhöhen, wie dies für typische Geräuschquellen (z.B. Güterzug) sinnvoll erscheint. Auf diese Art lassen sich die Nachteile (durch das Auftreten von Verschlechterungen innerhalb des Frequenzbereichs) bei der Verwendung von Resonatoren gleicher Abstimmung vermeiden. Dies deckt sich mit anderen Untersuchungen [1,2]. Die insgesamt durch die Funktionsweise des Aufsatzes erreichbare Minderung im A-bewerteten Pegel steigt bei der Verwendung unterschiedlicher Rohrlängen im Vergleich zu konstanten Rohrlängen bei einem breitbandigen Geräusch, wie dem verwendeten Güterzugspektrum und für die vorgegebene Geometrie der Quell- und Empfangspunkte ($\beta \approx 20^\circ$) von ca. 2 auf 3,5 dB an. Eine Abschätzung nach VDI 2720 zeigt, daß die Verbesserung der Abschirmwirkung um 3 dB (bei 800 Hz) bei der vorgegebenen Geometrie einer Erhöhung der Wand um ca. 0,7 m entspräche.

5. Literatur

- [1] K. Fujiwara, D.C. Hothersall, C. Kim: *Noise barriers with reactive surfaces*. Appl. Acoust. **53** (4), p. 255-272, 1998
- [2] T. Okubo, K. Fujiwara: Efficiency of a noise barrier with an acoustically soft cylindrical edge for practical use. J. Acoust. Soc. Am. **105** (6), p. 3326-3335, 1999
(s.a. Literaturangaben des zweiten Beitrags der Autoren auf dieser DAGA)

Wand 1 (VDI 2720)

Wand 2 (Messung)

Wand 1 (VDI 2720)

Wand 2 (Messung)

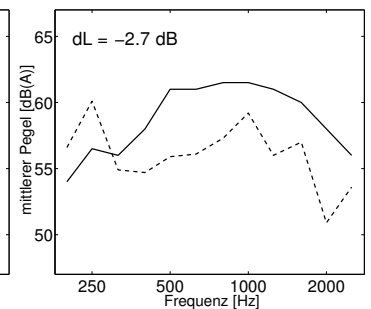
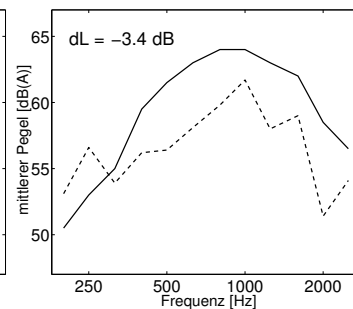
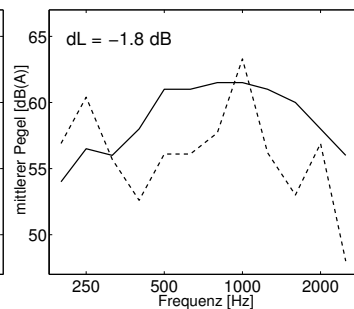
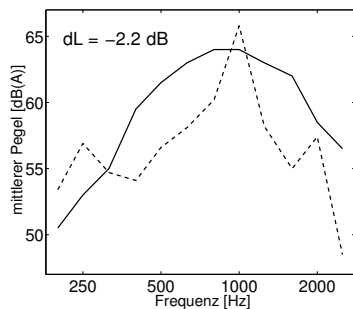


Fig. 6 alle Röhren gleich lang

Fig. 7 alle Röhren gleich lang

Fig. 8 zwei verschiedene Längen

Fig. 9 zwei verschiedene Längen

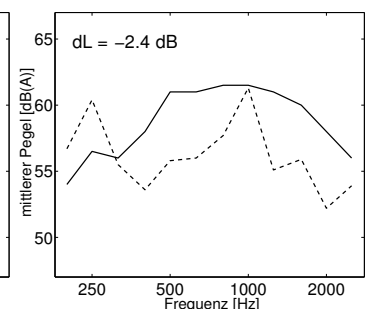
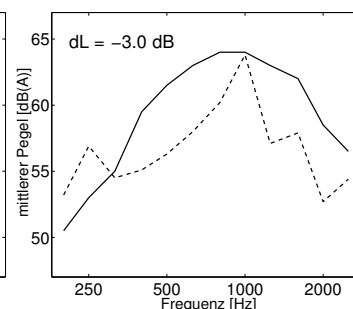
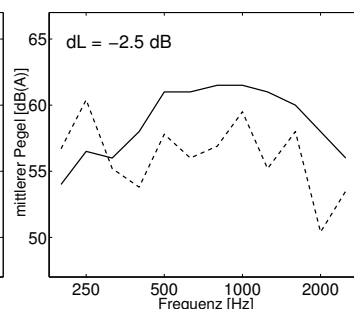
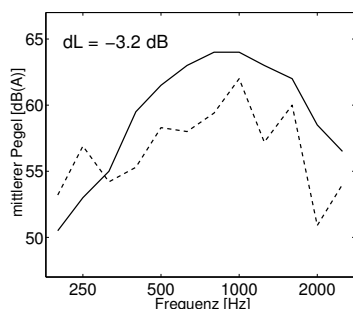


Fig. 10 zwei Längen wechselnd

Fig. 11 zwei Längen wechselnd

Fig. 12 zwei Längen (gespiegelt)

Fig. 13 zwei Längen (gespiegelt)

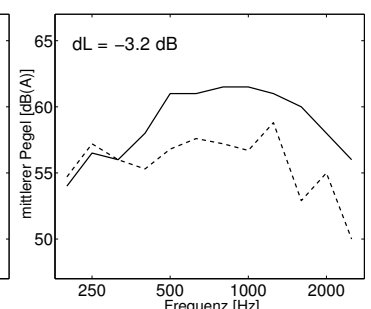
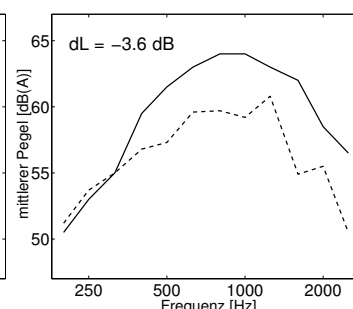
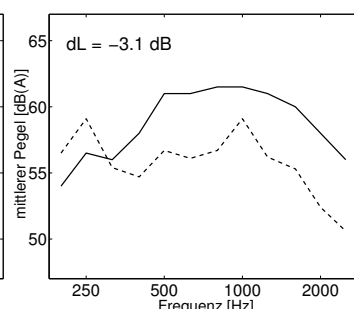
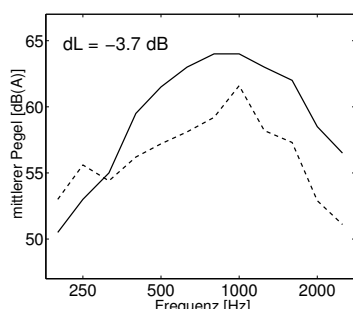


Fig. 14 drei verschiedene Längen

Fig. 15 drei verschiedene Längen

Fig. 16 in Anlehnung an [2]

Fig. 17 in Anlehnung an [2]