

# Aktiv verbesserte Aufsätze von Schallschirmen

Hyo-In Koh, Michael Möser

Institut für Technische Akustik, Technische Universität Berlin, Einsteinufer 25, D-10587 Berlin  
hyo-in.koh@tu-berlin.de

## Einleitung

Die theoretische Untersuchung von zylindrischen Aufsätzen an Schallschirmen [1] hat gezeigt, dass für die Abschirmung des Schattenfeldes hinter Schallschirmen die tangentielle Leistungsführung parallel zur Kantenoberfläche ausschlaggebend ist.

Durch numerische sowie experimentelle Untersuchungen [2] konnte nachgewiesen werden, dass die im Kantenbereich fließende Leistung durch Wahl geeigneter Impedanzbelegung am Eindringen in das Schattengebiet erfolgreich verhindert werden kann, was die Verbesserung im Bereich von mittleren und hohen Frequenzbereich gezielt wurde. Absorption auf der Vorderseite ist nicht maßgeblich und bietet nur geringe Wirkung.

Um eine Verbesserung der Abschirmwirkung auch bei tiefen Frequenzen erzielen zu können, wird versucht, die Oberflächenimpedanz des an die Schirmkante angebrachten Aufsatzes durch aktive Maßnahmen einzustellen um den Leistungstransport entlang der Kante möglichst klein zu halten.

## Modell

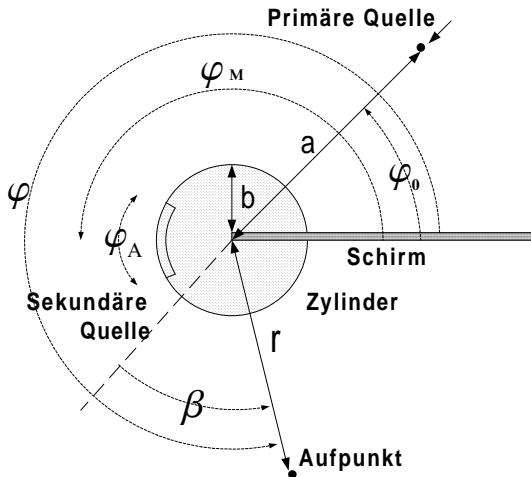


Abbildung 1: Modellanordnung zur Berechnung des Schallfeldes von aktiv gesteuerten Schirmaufsätzen

- $a$  ; Entfernung zur Quelle
- $b$  ; Radius des Zylinderaufsatzes
- $r$  ; Radius zum Aufpunkt
- $\beta$  ; Beugungswinkel
- $\varphi_0$  ; Schalleinfallswinkel
- $\varphi$  ; Winkel des Aufpunktes zum Schirm
- $\varphi_A$  ; Winkelbereich der sekundären Quelle
- $\varphi_M$  ; Winkel des Mittelpunktes der sekundären Quelle zum Schirm

Zur Untersuchung wird als Modell ein auf eine halbkugelförmige schallharte Schneide aufgesetzter Zylinder mit

einer schallharten Oberflächeneigenschaft und integrierten sekundären Quellen gewählt. Die Schnellevorgaben und Positionen der sekundären Quellen auf der Oberfläche des Zylinders sind beliebig wählbar. Bei der theoretischen Analyse wird stets angenommen, dass die primäre ungerichtete Linienschallquelle sich in großem Abstand vom Zylinder befindet ( $a \gg \lambda$ ), ( $a \gg r$ ) und damit eine einfallende ebene Welle erzeugt. Im Folgenden wird ein zweidimensionales Rechenmodell betrachtet.

## Simulation

Zur Vereinfachung wird die Zylinderoberfläche als lokal wirkende Impedanz

$$Z = -\frac{p(b)}{v_r(b)} \quad (1)$$

aufgefasst, wobei  $p(b)$  den Druck auf der Zylinderoberfläche  $r = b$  und  $v_r(b)$  die dort nach außen weisende Schnellekomponente bedeutet. Von der Impedanz wird angenommen, dass sie über dem Zylinderumfang konstant sei ( $\frac{\partial Z}{\partial \varphi} = 0$ ).

Das gesamte Schallfeld an einem beliebigen Aufpunkt  $(r, \varphi)$  lässt sich als Summe aus jeder Wirkung – Schirm, Zylinder, sekundäre Quelle – darstellen

$$p_{ges}(r, \varphi) = p_{sch}(r, \varphi) + p_{zyl}(r, \varphi) + \sum_{j=1}^K p_{aktj}(r, \varphi) \cdot \alpha_j, \quad (2)$$

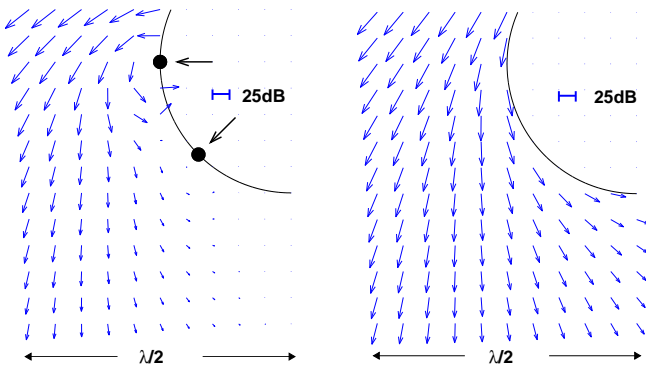
wobei die  $\alpha_j$  die komplexen Verstärkungsfaktoren der sekundären Quellen bezeichnen. Die  $\alpha_j$  werden so bestimmt, dass in einem bestimmten Zielbereich auf der Zylinderoberfläche die Summe von Schalldruckquadraten minimal wird:

$$\sum_{m=1}^Q |p_{ges}(b, \varphi_m)|^2 = Min. \quad (3)$$

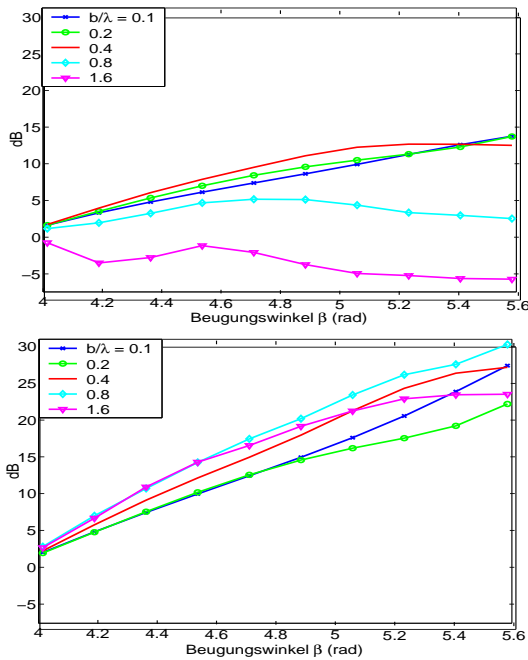
Die Indizes  $m$  bezeichnen die Positionen auf der Zylinderoberfläche, an denen das Schallfeld minimiert werden soll. In Abbildung 2 sind die Minimierungspositionen als schwarze Punkte und die Mittelpunkte der sekundären Quellen als Pfeile dargestellt. Die Minimierung an zwei Punkten auf der Oberfläche des Zylinders bewirkt eine Ablenkung der in den Schattenbereich auftreffenden Leistung (vgl. links und rechts in Abbildung 2). Das Verbesserungsmaß im Fernfeld ( $r \gg b$ ), ( $r \gg \lambda$ ) (in dB) durch die sekundäre Quelle wird wie folgt definiert

$$VM = 10 \lg \left( \frac{|p_{ohne-aktiv}|^2}{|p_{mit-aktiv}|^2} \right) \quad (4)$$

Abbildung 3 zeigt das Verbesserungsmaß für zwei unterschiedliche Anordnungen des aktiven Systems. Werden

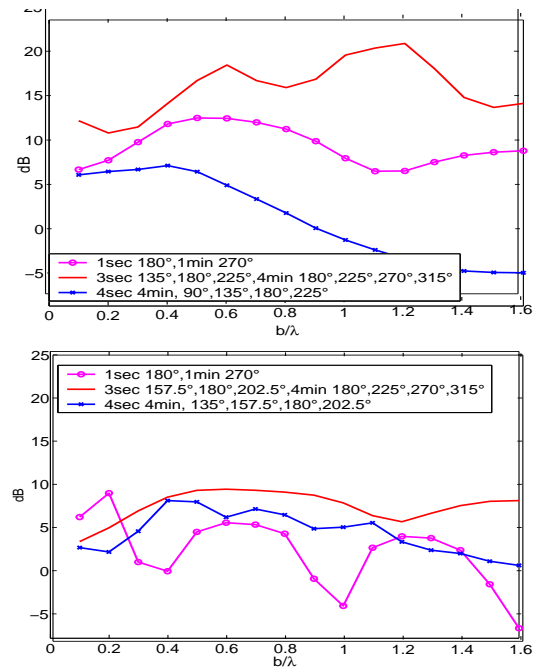


**Abbildung 2:** Intensitätsfluss im Bereich der sekundären Quelle ( $\frac{b}{\lambda} = 0.25$ ); Minimierungspunkte und  $\varphi_M = 180^\circ, 225^\circ$  (links), ohne sekundäre Quelle (rechts), jeweils  $\varphi_A = 45^\circ$  bei einem Schalleinfallswinkel  $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$



**Abbildung 3:** Verbesserungmaß berechnet für  $\beta = 5^\circ \sim 95^\circ$  (im Bild in radian) im Fernfeld; Minimierungspunkten und  $\varphi_M = 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ$  (oben),  $\varphi_M = 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ$ , Minimierungspunkte bei  $180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$  (unten), jeweils  $\varphi_A = 45^\circ$  bei einem Schalleinfallswinkel  $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$

die Bereiche minimiert, in denen sich die sekundären Quellen sich befinden (Abbildung 3(oben)), ist das Verbesserungsmaß für kleine Verhältnis  $\frac{b}{\lambda}$  deutlich höher (hier ab etwa  $\frac{b}{\lambda} \leq 0.5$ ). Ist die Position der sekundären Quellen und Minimierung unabhängig voneinander frei wählbar wie Abbildung 3(unten), so ist es möglich, auch für größere Verhältnisse  $\frac{b}{\lambda}$  optimale Anordnungen zu finden. Dabei ist die Verbesserung für größere Beugungswinkel günstiger. Wie in Abbildung 3(unten) hat es sich als günstig erwiesen, die sekundären Quellen im oberen Bereich des Zylinders zu positionieren und dabei die Schattenseite – jene Seite, in der Richtung die größtmögliche verbesserung gezielt werden soll – des Zylinders zu minimieren. In Abbildung 4(oben) ist zu erkennen, dass es auch mit einer kleinen Anzahl an sekundären Quellen möglich ist, große Verbesserungsmaße in einem breiten Frequenzbereich zu realisieren. Allerdings spielt hier auch die Breite der Quellen  $\varphi_A$  eine Rolle. Kleinere  $\varphi_A$  (Abbildung 4(unten)) sind besonders



**Abbildung 4:** Verbesserungsmaß gemittelt über  $\beta = 5^\circ \sim 95^\circ$  im Fernfeld;  $\varphi_A = 45^\circ$  (oben),  $\varphi_A = 22.5^\circ$  (unten), bei einem Schalleinfallswinkel  $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$

für die Anordnungen, bei denen die Mittelpunkte der sekundären Quellen und die Minimierungspunkte ungleich sind, ungünstig. Um eine große Wirkung zu erzielen soll der schallharte Anteil zwischen den sekundären Quellen möglichst gering sein.

### Zusammenfassung

Durch aktive lokale Minimierung des Schallfeldes auf der Oberfläche des schallharten Zylinders konnte der tangentielle Leistungstransport in ungefährliche Richtung abgelenkt werden.

Bei einem Schalleinfallswinkel von  $45^\circ$  und mit einer Lautsprecherbreite von  $45^\circ$  hat es sich als günstig erwiesen, die sekundären Schallquellen möglichst an die obere Seite (Kopf) des Zylinders zu platzieren und die Schallschattenseite des Zylinders zu minimieren. Diese Anordnung hat eine gute Wirkung in einem breiten Frequenzbereich und steigt mit dem Beugungswinkel. Kleinere sekundäre Quellen (kleiner als alle betrachteten Wellenlängen) wirkten hier über den Frequenzbereich schlechter.

Durch die Erhöhung der Anzahl ist es möglich, den Schallschatten zu verbreitern und zu verstärken, vielmehr ist eine geeignete Anordnung auf dem Zylinder wichtig.

### Literatur

- [1] M.Möser, Die Wirkung von zylindrischen Aufsätzen an Schallschirmen, Acustica Vol.81 (1995),S.565-586
- [2] R.Volz, Schallabweisende Aufsätze zur Verbesserung der Dämmwirkung von Schallschirmen, Ph.D Thesis, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 11, Nr.306 (2002)