

# Schallschirmversuchsstand

Jörn Hübelt, Ennes Sarradj

Institut für Technische Akustik, TU-Dresden, 01062 Dresden

## Einleitung

Die exakte Berechnung von komplexen Schallschirmkonfigurationen ist oft sehr kompliziert. Ein Mittel zur Bestätigung der Berechnungen dieser Konfigurationen ist die meßtechnische Erfassung des Schallfeldes im Modellmaßstab.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde im kleinen schallreflexionsarmen Raum der TU-Dresden ein Schallschirm-Versuchsstand aufgebaut, mit dessen Hilfe die Untersuchung eines Schallfeldes ermöglicht werden soll. Dabei handelt es sich um das Schallfeld einer Störschallquelle, das durch einen Schallschirm abgeschirmt wird.

Die Feldgröße Schalldruck mußte dabei an jedem Ort des Raumes nach Betrag und Phase erfassbar sein. Um den Anforderungen an die Erfassung und Beurteilung des Schallfeldes gerecht zu werden, war hierzu eine geeignete Meßeinrichtung zu erstellen. Für die gewonnenen Meßdaten wurde eine effektive rechnergestützte Auswertung geschaffen.

Ein exaktes Berechnungsverfahren zur Beugung einer ebenen Welle an einem Schirm stellte Sommerfeld bereits 1896 vor.

Die in der Praxis am weitesten verbreitete Lösung ist jedoch die Methode von Maekawa 1968 [1]. Zur Berechnung des Einfügungsdämpfungsmaßes  $D_e$ , am Immissionsort werden nach Maekawa die Pegelminderungen der einzelnen Schallstrahlen  $n$  nach Gleichung (1) energetisch addiert.

$$D_{e,imm} = -10 \lg \left( 10^{-\left(\frac{D_{z,1}}{10}\right)dB} + 10^{-\left(\frac{D_{z,2}}{10}\right)dB} + \dots + 10^{-\left(\frac{D_{z,n}}{10}\right)dB} \right) \quad (1)$$

Die durch die unterschiedliche Phasenlage der Amplituden bedingten Interferenzen werden von Maekawa nicht berücksichtigt. Diese Interferenzen haben jedoch einen bedeutenden Einfluß auf das Einfügungsdämpfungsmaß eines Schallschirmes.

Im Unterschied zur Berechnungsmethode von Maekawa wird bei der Lösung von Lam [2] der Schalldruck der einzelnen am Empfangsort eintreffenden Schallstrahlen nach Gleichung (2) als Feldgröße summiert. Dadurch können die durch Laufzeitunterschiede hervorgerufenen Interferenzen der Schalldruckwerte berücksichtigt werden.

$$D_e = D_{z,1} + 10 \lg \left( \frac{1 + 2 \frac{d_0}{d_r} \cos(pN_r) + \left(\frac{d_0}{d_r}\right)^2}{\sum_{i=1}^8 \sum_{m=1}^8 \frac{10^{-D_{z,i}/20} 10^{-D_{z,m}/20}}{10^{-D_{z,i}/20} 10^{-D_{z,m}/20}} \cos(p(N_i - N_m))} \right) \quad (2)$$

## Versuchsstand

### Untere Frequenzgrenze

Der schallreflexionsarme Raum ist mit porösen Absorbieren ausgekleidet. Deren Absorptionsvermögen verschlechtert sich bei tiefen Frequenzen. Die Schalldruckamplituden der an den Wänden reflektierten Wellen leisten einen Beitrag zum Störsignal und legen die untere Grenzfrequenz  $f_{u,G}$  für „Freifeld-Messungen“ fest. Zur abschätzenden Messung wurde hier auf das bekannte Schallfeld des Punktstrahlers zurückgegriffen. Dabei sind die Schalldruckpegel unter Variation des Abstandes ermittelt worden. Aus den erhaltenen Werten konnte durch Regression der Schallfluß des Kugelstrahlers bestimmt werden. Die Abweichungen der aus dem Schallfluß berechneten theoretischen Schalldruckpegel von den tatsächlich gemessenen können zur Bestimmung der unteren Grenzfrequenz herangezogen werden. Konvergiert diese Abweichung  $\Delta L_p$  bei Erhöhung der Frequenz gegen einen Wert kleiner 1dB (SNR = 20dB),

so ist die untere Grenzfrequenz  $f_{u,G}$  des schallreflexionsarmen Raumes die Frequenz, ab der diese Abweichungen  $\Delta L_p$  dauerhaft  $\leq 1$ dB sind.

Die untere Grenzfrequenz beträgt  $f_{u,G} \approx 315$  Hz.

### Reflexionsfaktor der Bodenfläche

Um eine exakte Berechnung des Schallfeldes zu ermöglichen, ist es vorteilhaft, eine homogene Fußbodenfläche mit bekanntem Reflexionsfaktor zu verwenden. Der Fußboden des schallreflexionsarmen Raumes wurde aus diesem Grund vollständig mit Fußbodenverlegeplatten vom Typ VE100 19mm belegt. Zur annähernden Bestimmung des Reflexionsfaktors der Fußbodenverlegeplatten diente folgende Berechnung: Der Schalldruck am Immissionsort  $p_{imm}(r_d)$  ergibt sich aus der Überlagerung der direkten Schallwelle mit der am Boden reflektierten.

$$p_{imm}(r_d) = \frac{j\omega\rho q(r_d) \exp(-jkr_d)}{4\pi r_d} + r_* \frac{j\omega\rho q \exp(-jkr_{sp})}{4\pi r_{sp}} \quad (3)$$

Setzt man in Gleichung (3) die durch Messung gewonnenen Werte für den Schalldruck  $p_{imm}$  ein, erhält man eine Gleichung mit den Unbekannten Schallfluß  $q$  des Punktstrahlers und Reflexionsfaktor  $r$ . Zur Bestimmung dieser Unbekannten wurde ein mit 700 Meßwerten überbestimmtes Gleichungssystem aufgestellt. Unter Anwendung der Lösungsvorschrift nach Gleichung (4) (Quadratmittelproblem) konnte der mittlere diffuse Reflexionsfaktor der Platten im eingebauten Zustand bestimmt werden. Er kann für Frequenzen größer 500 Hz als schallhart angenommen werden.

$$\|AA \bullet XX^* - BB\|_2 = \min_{XX \in R^n} \|AA \bullet XX - BB\|_2 \quad (4)$$

### Meßeinrichtung:

Zur Bestimmung des Schalldruckpegels eines Schallfeldes als Funktion des Ortes wird eine große Anzahl von Meßpunkten benötigt. Diese Meßpunkte liegen auf einem Raster. Die Auflösung des Rasters ist, der jeweiligen Messung entsprechend, variabel. Zur Meßdatenerfassung steht der 8-Kanal Analysator B&K 2035 zur Verfügung. Das Schallfeld kann daher mit einer 7-fach Mikrofonzeile, die im entsprechenden Raster sowohl horizontal als auch vertikal verstellbar ist, untersucht werden. Kanal acht dient hierbei als Monitorkanal.

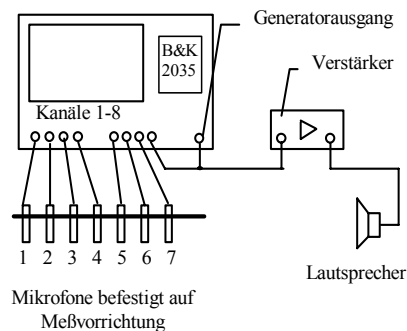


Bild 1 Versuchsaufbau: Meßschaltung

Die gewonnenen Meßdaten werden halbautomatisch abgespeichert und mit einem „mathematica-Programm, das auch graphische Darstellungen ermöglicht, ausgewertet.

## Messungen

### Punktstrahler im Halbraum

Zur Kontrolle der Funktion des Versuchsstandes sollte zunächst der Vergleich zwischen Messung und Berechnung des Schallfeldes eines

Punktstrahlers herangezogen werden. Mit der beschriebenen Meßanordnung wurde der Schalldruck  $p_{imm}$  im Schallfeld des Punktstrahlers ohne Schallschirm in der Ebene  $z=250\text{cm}$  bestimmt (Bild 2). Der Mikrofonabstand betrug dabei  $\Delta r=10\text{cm}$ . Als Anregung des Schallfeldes kam ein Lautsprecher zur Anwendung, dessen Hauptstrahlrichtung in der angegebenen Meßebeine verlief.

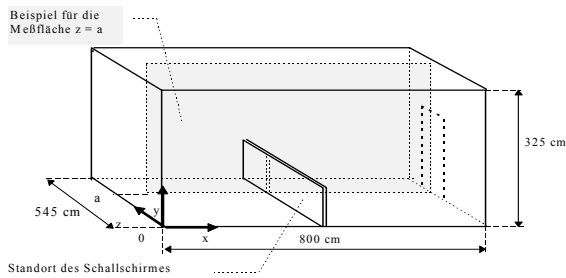


Bild 2 Verlauf der Meßebeine im schallreflexionsarmen Raum

Unter der Annahme von Spiegelquellen zur Nachbildung von Reflexionen am Boden und an der Wand wurde das Schallfeld nachfolgend berechnet. Der Vergleich zwischen Berechnung und Messung bestätigte die Funktion des Versuchsstandes. So konnte z.B. für die Frequenz  $f=1000\text{Hz}$  (Bild 4) eine mittlere Abweichung von kleiner als 1dB erzielt werden.

### Reflektierender Schallschirm

Wiederholt wurde die Messung mit einer schallhart ausgeführten Modell-Lärmschutz-Wand. Aus dieser und den Meßergebnissen der Messung ohne Schallschirm läßt sich nach Gleichung (5) das Einfügungsdämpfungsmaß  $D_e$  berechnen.

$$D_e(x, y) = L_{p,o}(x, y) - L_{p,m}(x, y) \quad (5)$$

Zum Vergleich wurde nun das Schallfeld der Störschallquelle nach Gleichung (2) berechnet. Die mittlere Abweichung der berechneten Schalldruckpegel von den gemessenen betrug 2 dB für die Frequenz  $f=1000\text{Hz}$ .

### Teilweise absorbierender Schallschirm

Die darauffolgende Messung an einem teilweise absorbierend ausgeführten Schallschirm ergab im Vergleich zum schallharten Schirm eine Pegelminderung von bis zu  $-6\text{ dB}$  quellseitig. Auf der Schattenseite konnten jedoch nur Minderungen von  $-3\text{ dB}$  erzielt werden.

### Zusammenfassung

Mit Hilfe des Versuchsstandes können komplizierte Berechnungen verschiedenster Schallschirmkonfigurationen bestätigt werden. An Hand der durchgeführten Messungen konnte die Funktion der Versuchsanordnung nachgewiesen werden.

### Literatur

- [1] Maekawa, Z: Noise Reduction By Screens. Applied Acoustics. 1(1968) S. 157-173.
- [2] Lam, Y. W.: Using Maekawa's Charts To Calculate Finite Length Barrier Insertion Loss. Applied Acoustics 42(1994) S. 29-40

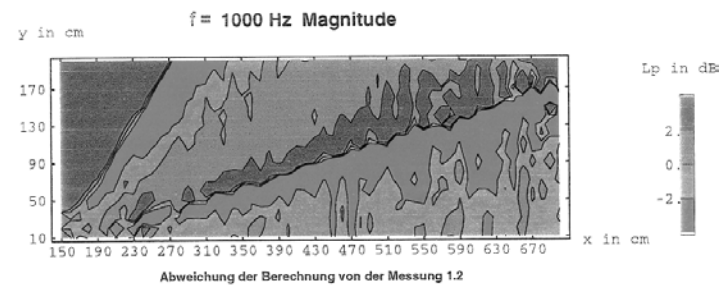
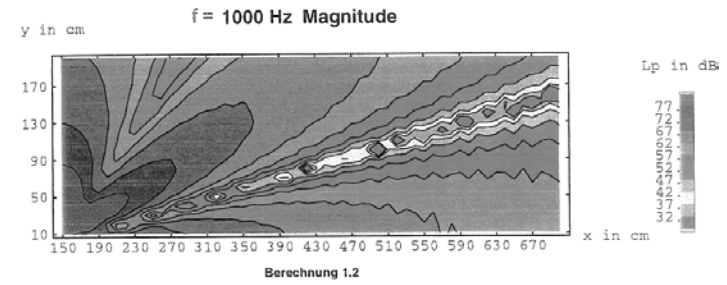
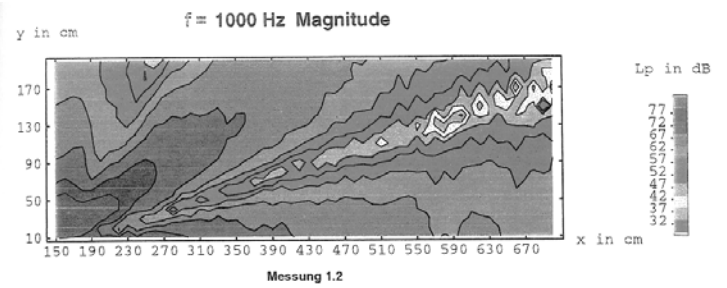


Bild 3 Schalldruckpegelverlauf als Funktion des Ortes für eine Punktschallquelle am Ort  $P(x,y,z) = (150,30,250)\text{cm}$ ;  $f=1000\text{Hz}$ ; Fußbodenfläche  $y = 0\text{cm}$  schallhart; Meßebeine  $z=250\text{ cm}$ ; Mikrofonraster  $10\text{cm}$ ; 1120 Meßpunkte.

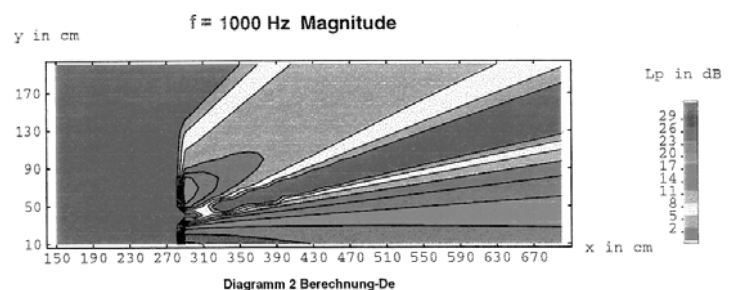
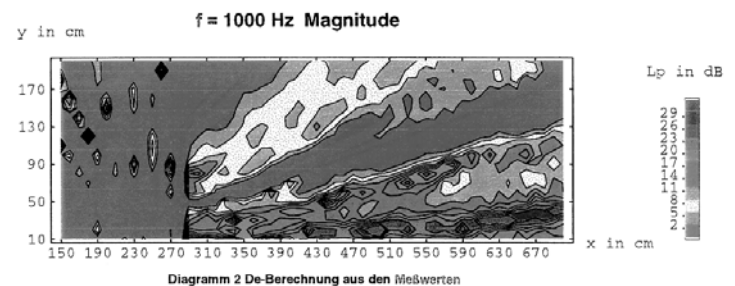


Bild 4 Einfügungsdämpfungsmaß als Funktion des Ortes, berechnet aus den Meßwerten (oben) sowie berechnet nach LAM (unten). Reflektierender Schallschirm an der Stelle  $x=285\text{cm}$ . Meßebeine  $z = 250\text{cm}$ ; Fußbodenfläche  $y = 0\text{cm}$  schallhart, Mikrofonraster  $10\text{cm}$ ; 1120 Meßpunkte