

# Aufsätze für Schallschirme – Messungen an einer Lärmschutzwand

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

## 1. Einleitung

Die mögliche Verbesserung der Abschirmwirkung von Schallschirmen durch Maßnahmen im Bereich der Schirmoberkante ist seit 1995 Gegenstand von Untersuchungen. Die theoretischen Grundlagen und Ergebnisse an verschiedenen Aufsätzen wurden bereits in der Literatur und auf Vorträgen auf der DAGA 95, 97 und 98 vorgestellt [1-5]. Im wesentlichen lassen sich danach Verbesserungen in Frequenzbereichen betragsmäßig kleiner Impedanz erwarten (z.B. durch einen Resonatoraufbau). Der auf der DAGA 98 vorgestellte Aufsatz mit  $\lambda/4$ -Resonatoren ("Orgelpfeifenprinzip") wurde weiter verbessert und im reflexionsarmen Raum des Instituts vermessen. Die Ergebnisse dieses Aufsatzes flossen in eine überarbeitete Aufsatzkonstruktion ein, die in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum der Deutschen Bahn AG realisiert und an einer existierenden Lärmschutzwand an einer Bahnstrecke befestigt und vermessen wurde.

Die Ergebnisse der Messungen an diesen beiden Aufsätzen werden verglichen und interpretiert.

## 2. Aufbau der beiden Aufsätze

### 2.1. Aufsatz für die Labormessungen

Als Aufsatz wurde eine einfache  $\lambda/4$ -Resonator-Konstruktion verwendet. Sie besteht aus insgesamt 522 unten geschlossenen, quadratischen Röhren (9 Reihen á 58 Röhren, Außenkantenlänge 50 mm, Länge 200 mm, Wanddicke 2 mm,  $f_0 \approx 400$  Hz), die in einen ca. 3 m langen und 0,52 m breiten Holzkasten eingesetzt sind. Der Anteil der Lochfläche zur gesamten Oberfläche beträgt ca. 85%.

### 2.2. Aufsatz für die Feldmessungen

Auch hier wurde als Aufsatz eine  $\lambda/4$ -Resonator-Konstruktion verwendet. Im Gegensatz zum Laboraufbau bestand sie aus runden Röhren (Außen- $\varnothing$  40 mm, Wanddicke 2 mm), die dicht in Reihen nebeneinander standen, so daß zwischen jeweils 4 Röhren eine sternförmige Röhre entstand, die ebenfalls mit ihrer oben offenen Oberfläche wirksam ist. Die Röhren standen auf einem Lochblech in 1 m breiten Kästen, die im unteren Bereich mit Wasser gefüllt waren. Der schallharte Abschluß an der Unterseite der unten offenen Röhren war durch den Wasserspiegel gegeben. Auf diese Art war die Simulation von unterschiedlich langen Röhren möglich. Es werden die Ergebnisse für eine frei Rohrweglänge von 180 mm dargestellt ( $f_0 \approx 450$  Hz). Der gesamte Aufsatz war 10 m lang und 0,60 m breit. Der Anteil der Lochfläche zur gesamten Oberfläche betrug ebenfalls ca. 85%.

## 3. Messungen

### 3.1. Labormessung

Die Vermessung der Schallschutzwand mit dem Aufsatz fand im reflexionsarmen Raum (RAR) statt. Der Aufsatz wurde auf der Rückseite einer 5 m langen zweischaligen Wand befestigt. Dieser Schallschirm schloß beidseitig an je eine hochabsorbierende Wand des RAR an und teilte so eine Dreiecksfläche des RAR ab. Um eine Schallausbreitung über die Unterkante der Wand zu unterbinden, wurde das Tragnetz des RAR auf der Sendeseite mit einem doppelschaligen Boden abgedeckt. Zur Reduzierung von Bodenreflexionen wurden 50 mm dicke offenporige Schaumstoffmatten auf dem sendeseitigen Boden ausgelegt. Als Quelle wurde ein Ein-Wege-Lautsprechersystem verwendet (Fig. 1).

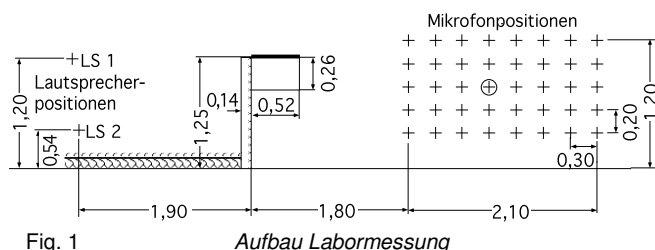


Fig. 1 Aufbau Labormessung

Die Wirkung des Laboraufsatzes wurde auf seinen konstruktiven Aufbau bezogen. Die angegebenen Ergebnisse stellen das Verbesserungsmaß (VBM) in dB dar, das sich aus der folgenden Pegeldifferenz ergibt:

$$VBM = L(\text{mit Abdeckung}) - L(\text{ohne Abdeckung})$$

worin  $L(\text{mit Abdeckung})$  den Pegel bezeichnet, der im Fall des mit einer Schwerfolie abgedeckten Aufsatzes (Flächenmasse der Schwerfolie: 5 kg/m<sup>2</sup>) gemessen wurde, und  $L(\text{ohne Abdeckung})$  den Pegel bezeichnet, der für den Fall des offenen Aufsatzes gemessen wurde.

Ein positives VBM gibt den durch den Aufsatz tatsächlich erreichten Vorteil gegenüber einem totalreflektierenden Aufbau gleicher Geometrie an. Die Quellenregung erfolgte mit bandbegrenztem weißem Rauschen, wobei sich die Quelle an zwei verschiedenen Positionen befand. Der Schallpegel wurde an 40 Positionen hinter der Schallschutzwand im Frequenzbereich bis 3,2 kHz gemessen (s.a. Fig. 1). Das anregende Schallfeld wurde durch ein Referenzmikrofon auf Konstanz untersucht: die Unterschiede bezüglich des Referenzsignals lagen zwischen den Meßserien innerhalb einer Terz durchweg unter 1 dB.

### 3.2. Feldmessung

Eine vorhandene Lärmschutzwand, die sich an einer Fernbahnstrecke befand, wurde auf einer Länge von 10 m durch Herausnahme von Wandelementen um 1 m auf eine Höhe von 2 m über Schienenoberkante (SO) reduziert. Auf diesem Teilstück wurde der Aufsatz auf der schienenabgewandten Seite bündig mit der Wandoberkante angebracht (Fig. 2).

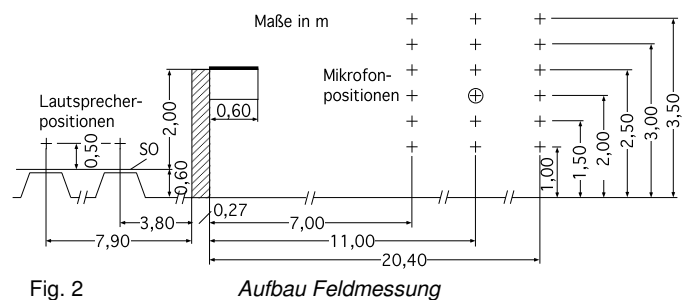


Fig. 2 Aufbau Feldmessung

Zur Ermittlung des VBM fanden Messungen mit und ohne Aufsatz statt. Im Gegensatz zur Messung im Labor geht in den Feldmessungen daher die zusätzliche Abschirmwirkung durch die Änderung der Geometrie der Wand mit Aufsatz in das VBM ein; es gilt also:

$$VBM = L(\text{ohne Aufsatz}) - L(\text{mit Aufsatz})$$

Die Anregung erfolgte durch einen Lautsprecher ebenfalls mit bandbegrenztem weißem Rauschen, der in zwei unterschiedlichen Abständen zur Wand (als Simulation für die beiden angrenzenden Gleise) positioniert wurde. Der Empfangspegel wurde an insgesamt 18 Punkten auf der schienenabgewandten Seite der Wand im Frequenzbereich bis 6,4 kHz gemessen. Das anregende Schallfeld wurde ebenfalls auf Konstanz hin untersucht: es kann von einer Meßgenauigkeit in den Oktavbändern von unter 1 dB ausgegangen werden (s.a. Fig. 2).

## 4. Ergebnisse der Messungen

### 4.1. Frequenzgang einzelner Meßpunkte

Fig. 3 und Fig. 4 zeigen das VBM über der Frequenz für zwei ausgewählte Meßpunkte (in Fig. 1 und Fig. 2 hervorgehoben), wobei in Fig. 3 zusätzlich die Ergebnisse aus numerischen Simulationen eingetragen sind (zur Berechnung siehe [4]).

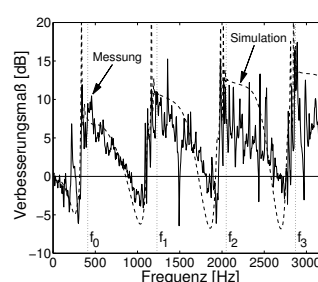


Fig. 3 Labormessung

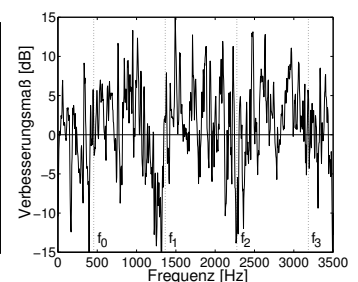


Fig. 4 Feldmessung

Der Verlauf in Fig. 3 zeigt deutlich das prinzipielle Verhalten eines Resonators bezüglich der erreichbaren Verbesserung: unterhalb von  $f_0$  ( $\approx 400$  Hz) liegt Steifeverhalten der Impedanz und damit ein negatives VBM vor. Oberhalb dieser Frequenz bis kurz vor Ausbildung der nächsten Mode ( $f_1$  usw.) liegt Massenverhalten der Impedanz vor, was sich in einem positivem VBM niederschlägt. Im Diagramm der Feldmessung (Fig. 4) ist dieses Verhalten bedingt durch auftretende Interferenzen (z.B. durch Bodenreflexionen) nur noch sehr eingeschränkt festzustellen. Daher wird im weiteren zu einer Betrachtung in oktavn breiten Frequenzbändern übergegangen. Da die freien Rohrweglängen der beiden Aufsätze unterschiedlich groß sind (200 und 180 mm) werden die Frequenzbandgrenzen für die Feldmessung entsprechend um ca. 10% angehoben. Auf diese Weise ist eine bessere Vergleichbarkeit

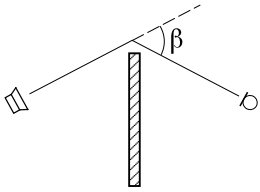


Fig. 5 Beugungswinkel

bezogen auf die Funktionsweise der Aufsätze möglich.

Fig. 6 bis Fig. 13 zeigen für vier Oktaven das VBM über dem Beugungswinkel (Fig. 5). Die Symbole 'x' beziehen sich jeweils auf die obere (Labormessung) bzw. wandferne (Feldmessung) Position der Quelle, die Symbole 'o' auf die untere bzw. wandnahe Position. In der untersten Oktave unterhalb von  $f_0$

(Fig. 6,  $f_m = 265$  Hz; bzw. Fig. 7,  $f_m = 295$  Hz) liegt jeweils Steifeverhalten der Impedanz vor, d.h. hier werden Verschlechterungen durch die Wirkung des Aufsatzes erwartet. Die Labormessung zeigt hier große Unterschiede bezüglich der Quellposition. In der darüberliegenden „besten“ Oktave (Fig. 8,  $f_m = 530$  Hz; bzw. Fig. 9,  $f_m = 590$  Hz) ergeben sich in der Labormessung Werte von 3 bis 6 dB, die mit dem Beugungswinkel ansteigen. Die Werte der Feldmessung liegen bei 1 bis 5 dB. In der nächsten Oktave (Fig. 10,  $f_m = 1060$  Hz; bzw. Fig. 11,  $f_m = 1180$  Hz) werden wenig Verbesserungen erwartet, da aufgrund der in ihr enthaltenen Mode  $f_1$  Masse- und Steifeverhalten der Impedanz vorliegt (Labormessung: -1 bis 1 dB, Feldmessung -2 bis 2 dB). In der obersten Oktave (Fig. 5,  $f_m = 2120$  Hz; bzw. Fig. 6,  $f_m = 2360$  Hz) liegt das VBM bei 2 bis 4 dB (Labor) bzw. -2 bis 5 dB). In allen betrachteten Oktavbändern ist die Streuung der Werte über dem Beugungswinkel in den Feldmessungen deutlich größer.

### 5. Zusammenfassung

Der Vergleich der Messungen zeigt, daß eine erhöhte Abschirmwirkung durch mit Resonatoren ausgestatteten Aufsätzen für Schallschutzwände auch unter realen Bedingungen (größere Abstände, Bodenreflexionen) erreichbar ist. Im „besten“ Oktavband ( $f_m = 590$  Hz) ergaben sich in der Feldmessung Verbesserungen von 1 bis 5 (im Mittel 3) dB. Um eine 3 dB höhere Abschirmwirkung in diesem Frequenzbereich unter gleichen geometrischen Bedingungen zu erreichen, wäre eine Erhöhung der Wand um ca. 0,7 m notwendig. Prinzipiell bleiben die gemessenen Werte der Feldmessung jedoch hinter den Werten aus dem Labor zurück. Für eine praktische Anwendung mit typischen Geräuschspektren wäre eine breitbandigere Erhöhung der Abschirmwirkung wünschenswert. Da aber bei gleicher Abstimmung der Resonanzfrequenz (d.h. gleichen Rohrlängen) systembedingt auch Verschlechterungen im gesamten Frequenzbereich auftreten, ist die Betrachtung des Verhaltens eines Aufsatzes mit unterschiedlichen Rohrlängen sinnvoll. Die Ergebnisse dieser Betrachtungen werden in dem zweiten Beitrag zur DAGA 2000 dargelegt.

### 6. Literatur

- [1] M. Möser: *Die Wirkung von zylindrischen Aufsätzen an Schallschirmen*, *Acustica* **81**, p. 565-586, 1995
- [2] M. Möser: *Schallschirme mit zylindrischen Aufsätzen*, DAGA '95, Saarbrücken, p. 691-694, 1995
- [3] R. Volz, M. Möser: *Schallschirme mit zylindrischen Aufsätzen - erste Ergebnisse*, DAGA '97, Kiel, p. 136-137, 1997
- [4] R. Volz, M. Möser: *Aufsätze für Schallschirme*, DAGA '98, Zürich, p. 230-321, 1998
- [5] M. Möser, R. Volz: *Improvement of sound barriers using head-pieces with finite impedance*, *J. Acoust. Soc. Am. (JASA)* **106** (6), p. 3049-3060, 1999

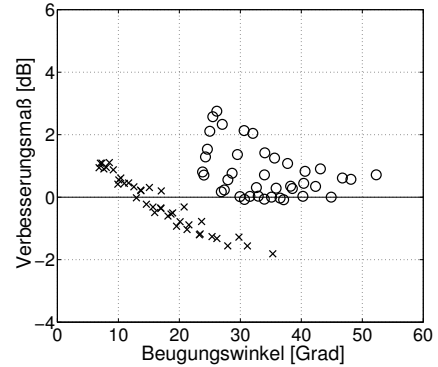


Fig. 6 Labor,  $f_m = 265$  Hz

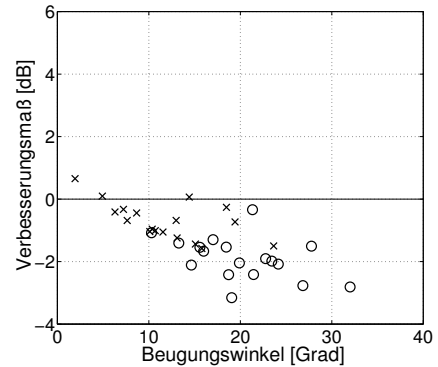


Fig. 7 Feld,  $f_m = 295$  Hz

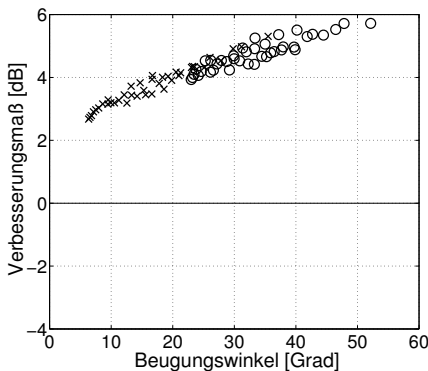


Fig. 8 Labor,  $f_m = 530$  Hz

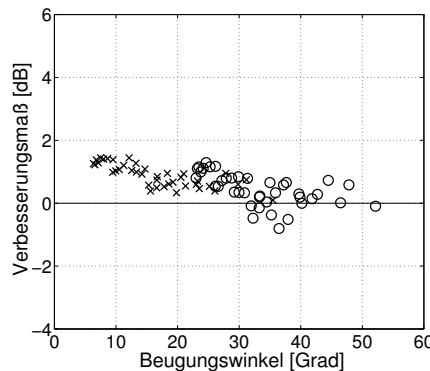


Fig. 10 Labor,  $f_m = 1060$  Hz

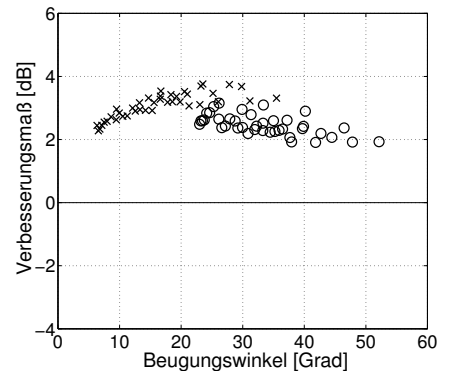


Fig. 12 Labor,  $f_m = 2120$  Hz

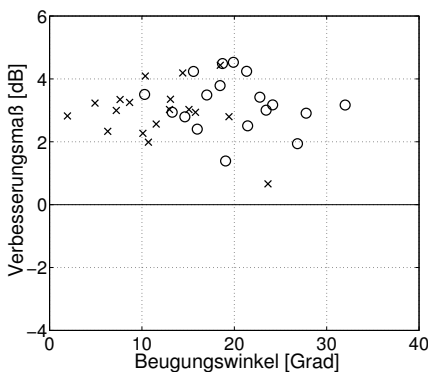


Fig. 9 Feld,  $f_m = 590$  Hz

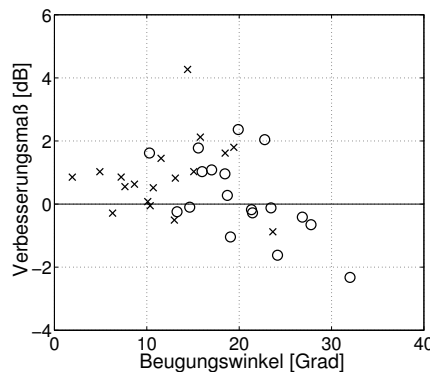


Fig. 11 Feld,  $f_m = 1180$  Hz

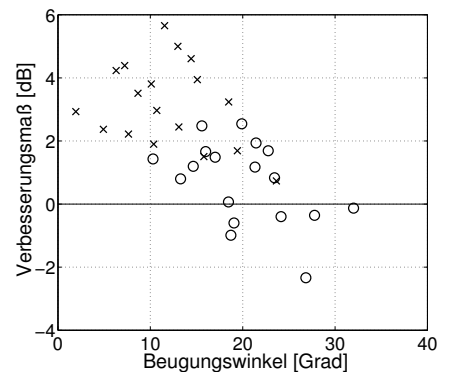


Fig. 13 Feld,  $f_m = 2360$  Hz