

# Schalldurchgangs- und Nachhallmessungen an Schienenfahrzeugen des Nahverkehrs

Dr.-Ing. F. KRÜGER, STUVA e.V., Köln

## 1 Einführung

Der Innengeräuschpegel in Schienenfahrzeugen des Nah- und Fernverkehrs wird maßgeblich bestimmt von der Schalldämmung des Fahrzeugkastens und der Nachhallzeit im Fahrzeug. Der Fahrzeugkasten wird hier unterteilt in Fußboden, Seitenwände (mit Fenstern und Türen), Dach und - falls vorhanden - Faltenbälge in den Gelenken. Die Messung dieser Größen ist nicht genormt. Im folgenden werden entsprechende Messungen beschrieben, wobei ersatzweise auf Festlegungen in anderen Normen zurückgegriffen wird.

In den Normen EN ISO 3095 / 3381 sowie in E DIN 45642 sind keine Angaben enthalten, um die Schalldämmung von Fahrzeugfußboden, -seitenwand (einschließlich Kopf, Fenster, Türen) und -dach zu messen. Durch o.g. Messungen an verschiedenen Fahrzeugen werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie Meßmethoden der Bauakustik auf die genannte Fragestellung übertragen werden könnten. Hiermit soll eine Diskussion über eine entsprechende Normung auch für Schienenfahrzeuge in Gang gesetzt werden. Eine Notwendigkeit hierfür ist durch die häufig auftretenden sehr unterschiedlichen Schallpegel an verschiedenen Punkten im gleichen Fahrzeug sowie an gleichen Punkten in verschiedenen Fahrzeugen gegeben. So wurden in einem U-Bahnfahrzeug Pegelunterschiede bis zu 8 dB(A) gemessen. Worauf kann dies zurückgeführt werden? Durch Messung der Schalldämmung (und der Intensität) an den genannten Fahrzeugkomponenten könnte dies ermittelt werden. Ziel ist eine weitere Schallminderung in Fahrzeugen.

Die wesentlichsten Geräuschquellen sind das Rad/Schiene-Geräusch sowie Geräusche des Antriebs und der Aggregate zur Lüftung, Kühlung, Drucklufterzeugung und Stromumformung. Bei hochflurigen Fahrzeugen liegen diese Quellen nahezu alle unterhalb des Fußbodens. Im Fahrzeuginnenraum sind Heizgebläse vorhanden, die bei niedrigen Geschwindigkeiten den Geräuschpegel bestimmen können. Bei niederflurigen Fahrzeugen sind dagegen auch viele Aggregate auf dem Fahrzeugdach angeordnet und emittieren von dort aus Schall.

## 2 Genormte Größen in der Bauakustik

In der Bauakustik (DIN 1320, DIN 52210, DIN 52212) sind zur Ermittlung der Schalldämmung von Wänden und Fenstern u.a. folgende Größen definiert:

1. Schallpegeldifferenz zwischen zwei Räumen, Gl. (1).

$$D = L_1 - L_2 \quad (1)$$

Mit  $L_1 \rightarrow$  Schallpegel im Senderraum;  $L_2 \rightarrow$  Schallpegel im Empfangsraum

2. Die Norm-Schallpegeldifferenz wird definiert zu

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \cdot \lg(A / A_0) \quad (2)$$

Mit  $A \rightarrow$  äquivalente Absorptionsfläche in  $m^2$  im Empfangsraum;  $A_0 \rightarrow$  Bezugsabsorptionsfläche,  $A_0$  wird i.d.R. = 10  $m^2$  gesetzt.

3. Eine weitere Größe ist die Nachhallzeit-reduzierte Schallpegeldifferenz  $D_{nT}$ .

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg(T / T_0) \quad (3)$$

Mit  $T$  Nachhallzeit im Empfangsraum (hier Fahrzeuginnenraum) und  $T_0 \rightarrow$  Bezugsnachhallzeit (für Wohnräume ist  $T_0 = 0,5$  s festgelegt).

4. Die Nachhallzeit  $T$  beschreibt die Zeit, die vergeht zwischen dem Abschalten einer Schallquelle und dem Abfall des Schalldruckpegels um 60 dB.
5. Das bewertete Schalldämm-Maß  $L'_w$  als Einzahl-Angabe.

## 3 Messungen

Bei den durchgeführten Messungen vor Ort wurde zur Messung der Schallübertragung außerhalb der Fahrzeuge mit ei-

nem Lautsprecher ein Schallfeld erzeugt. Der Lautsprecher war hierbei in Richtung Fahrzeug gerichtet. Vor und hinter dem zu untersuchenden Fahrzeugteil wurden außen und innen in einem Abstand von je ca. 50 cm Meßmikrofone aufgestellt. Die Mikrofone zeigten hierbei in Richtung des zu untersuchenden Bauteils. Bei den Messungen erfolgte eine direkte Spektrenerstellung mit einem 2-Kanal-Terzanalysator vor Ort. Zur Ermittlung der Nachhallzeit wurde der Lautsprecher im Fahrzeug aufgestellt. Die Messungen wurden mit Rosa und Weißem Rauschen durchgeführt. Rosa Rauschen ist ein Breitbandrauschen, dessen Pegel pro Oktave um 3 dB abnimmt.

An einigen Fahrzeugen des Nahverkehrs erfolgten entsprechende Messungen. Im folgenden werden einige Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Schallpegeldifferenz

Abbildung 1 zeigt Schallpegeldifferenzen für den Frequenzbereich von 80 Hz bis 10 kHz, die an einem Straßenbahnfahrzeug vor und nach einer Rekonstruktion gemessen wurden [1]. Durch den Umbau konnten deutliche Verbesserungen für die Wand-, Fenster- und Türbereiche erzielt werden (ca. 10 dB). Nach der Rekonstruktion lagen die maximalen Werte zwischen 30 und 40 dB, wobei in einzelnen Frequenzbereichen deutliche Einbrüche zu erkennen sind.

Während die in Abb. 1 gezeigten Ergebnisse jeweils punktuell gemessen wurden zeigt Abb. 2 die Verteilung der Schallpegeldifferenz längs der Seitenwand eines dreiteiligen Stadtbahnfahrzeuges beispielhaft für die Terzen 500 Hz, 1 und 2 kHz sowie für den A- und L-Pegel. Hierdurch kann das unterschiedliche Dämmverhalten der Seitenwand (und des Fußbodens) über die gesamte Fahrzeuglänge aufgezeigt und so akustische Schwachstellen erkannt werden. Die Ergebnisse für Rosa und Weißes Rauschen waren weitgehend identisch, Abb. 2 zeigt daher nur die Ergebnisse für Rosa Rauschen.

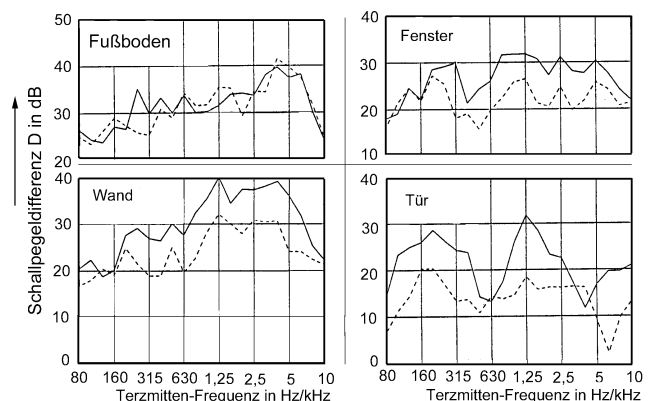


Abbildung 1: Schallpegeldifferenz an verschiedenen Außenbauteilen eines Straßenbahnfahrzeuges vor und nach einer Rekonstruktion [1]

Aus den Ergebnissen ergeben sich folgende Aussagen für die Seitenwand:

- Deutlich ist der Einfluß der Faltenbälge in den Gelenken zu erkennen. Hier sind Pegel einbrüche von ca. 15 dB bis 25 dB vorhanden (außer bei 25 Hz).
- Unterschiedliche Terzen zeigen auch eine unterschiedliche Dämmung. Die Differenzpegel schwanken zwischen ca. 10 dB und 45 dB, besonders gering sind sie bei den Terzen 25 Hz und 160 Hz. Die größten Differenzpegel

sind bei den Terzen 1,6 bis 6,3 kHz vorhanden. Dies gilt auch für den Bereich der Faltenbälge.

- Die drei Fahrzeugwagen zeigen ein z.T. sehr unterschiedliches Verhalten. In einzelnen Frequenzen sind am Wagen C die größten Dämmungen vorhanden, in anderen Terzen liegen in den beiden anderen Wagen höhere Differenzpegel vor.
- Für den A-Pegel sind die größten Differenzen im Wagen C und in der Mitte von Wagen B vorhanden. Der größte Pegelunterschied beträgt ca. 20 dB(A).

Der Fußboden (hierfür werden keine Ergebnisse gezeigt) zeigt in der Tendenz ein ähnliches Verhalten wie die Seitenwand. Folgende Besonderheiten sind hier jedoch vorhanden:

- Die Dämmung im Bereich der Faltenbälge ist geringer als an der Seite (ca. 10 bis 20 dB).
- Die größten Dämmungen sind im Frequenzbereich von 1,6 bis 6,3 kHz vorhanden.
- In einzelnen Terzen sind in den Drehgestellbereichen und in der Mitte von Wagen C etwas höhere Dämmungen vorhanden (z.B. 3150 Hz).
- Eine deutliche Abnahme der Dämmung ist an den beiden Kopfen des Fahrzeuges zu verzeichnen. Dies läßt darauf schließen, daß hier Bereiche mit einer geringeren Luftschalldämmung vorhanden sind (z.B. schwach gedämmte Durchbrüche im Fußboden, nicht dicht schließende Türen etc.).
- Für den A-Pegel ergeben sich Minderungen bis 42 dB(A).

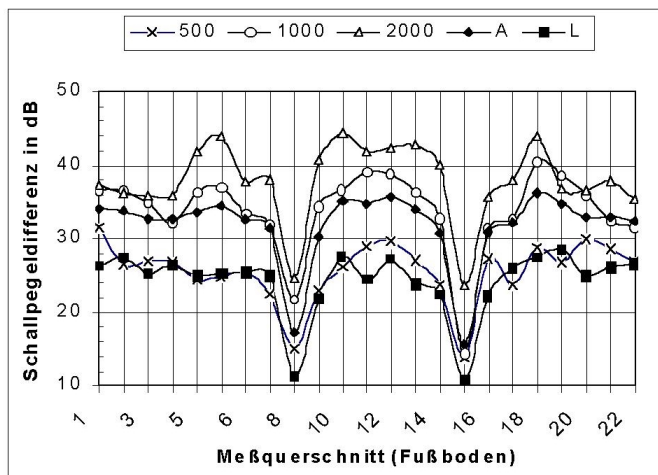


Abbildung 2: Schallpegeldifferenz einer Fahrzeugseitenwand, verschiedene Meßpunkte in Fahrzeuginnenraum (gemessen ungefähr in Kopfhöhe der sitzenden Fahrgäste)

#### 4.2 Nachhallzeit

In Abb. 3 sind einige gemessene Nachhallzeiten für Terzen von 200 Hz bis 10 kHz an drei verschiedenen Punkten in einem Schienenfahrzeug dargestellt. Die gemessenen Zeiten sind stark frequenzabhängig, im Mittel betragen sie ca. 0,5 s. In [2] wurden in Straßenbahnfahrzeugen Werte zwischen ca. 0,5 und 1,1 s gemessen. Zum Vergleich liegen die Nachhallzeiten in geschlossenen Räumen bei 1,2 s in Vortragsräumen, bei 1,5 bis 2,2 s in Opern- und Konzertsälen sowie bei 2,0 bis 3,5 s in Kirchen.

In der Regel konnte mit der angewandten Meßtechnik kein Pegelabfall von 60 dB - wie gefordert - erzielt werden. Es wurden daher die Zeiten für einen Abfall von 30 dB gemessen und auf 60 dB umgerechnet. Besonders hohe Nachhallzeiten wurden in sehr schallharten Fahrzeugen gemessen (z.B. in Fahrzeugen ohne gepolsterte Sitze).

#### 4.3 Bewertetes Schalldämm-Maß

In Tabelle 1 sind beispielhaft für verschiedene Fahrzeuge Einzel-Größen zur Beschreibung der Schalldämmung von Fahrzeugseitenwänden gegenüber gestellt. Die Messungen erfolgten an verschiedenen Punkten im Wand- (MP 1 und MP 2) und Fensterbereich (MP 3). Zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes wurde hier zur Vereinfachung anstelle der Norm-

schallpegeldifferenz  $D_{nT}$  die Schallpegeldifferenz  $D$  herangezogen. Dies wird durch ein "\*" gekennzeichnet. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Messungen erfolgte bei diesen Messungen die Schallanregung im Fahrzeug.

Tabelle 1: Ergebnisse der Durchgangsmessungen; Anregung innen mit Rosa Rauschen RR und teilw. Weißem Rauschen WR; NF: Niederflurbereich, HF: Hochflurbereich

Fzg.-typ:	SB	VTE	RVT-NF	RVT-HF		
Schallpegeldifferenz (A-bewertet) in dB(A)						
MP	RR	RR	RR	WR	RR	WR
1	27,3	24,8	32,1	31,8	33,2	32,8
2	27,1	23,1	32,3	32,9	35,5	36,0
3	28,1	20,7	32,4	33,0	34,6	34,5
Schallpegeldifferenz (unbewertet) in dB						
MP	RR	RR	RR	WR	RR	WR
1	21,1	22,3	29,5	29,9	32,7	32,7
2	20,0	20,1	28,3	30,4	30,3	33,8
3	21,2	22,3	28,4	30,0	31,1	33,0
Bewertetes Schalldämm-Maß $R^*_{w}$ in dB						
MP	RR	RR	RR	WR	RR	WR
1	27	26	33	32	35	35
2	27	24	32	32	34	34
3	28	23	32	32	34	34

Die verschiedenen in Tabelle 1 dargestellten Pegelwerte weichen je Fahrzeug nur geringfügig voneinander ab (ca.  $\pm$  2 dB).

Zum Vergleich werden in [3] folgende bewertete Schalldämm-Maße  $R^*_w$  genannt:

- Fenster  $R^*_w = 42$  dB(A),
- Seitenwand  $R^*_w = 42$  dB(A),
- Dach  $R^*_w = 38$  dB(A),
- Fußboden  $R^*_w = 52$  dB(A).

Diese Werte wurden in Anlehnung an DIN 52210 an einem ICE/V-Mittelwagen ermittelt. Wie die Meßanordnung aufgebaut war, ist in [3] nicht beschrieben.

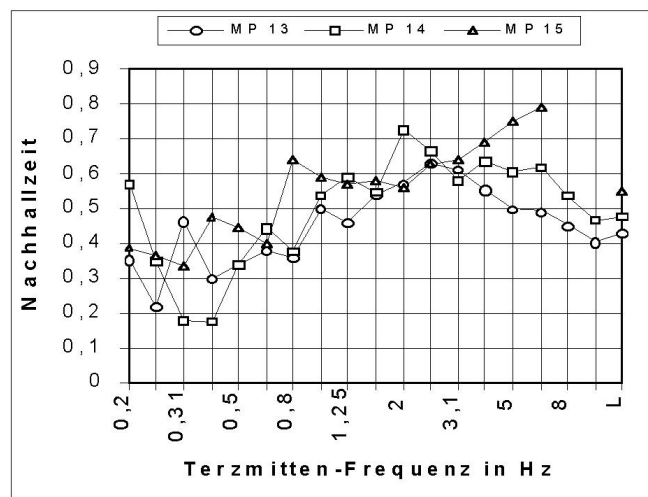


Abbildung 3: Nachhallzeiten an verschiedenen Meßpunkten in einem Dieseltriebwagen

#### Literatur:

- [1] Krüger, F. u.a.: Minderung von Straßenbahngeräuschen – Wirkung von Schallminderungsmaßnahmen, UBA Forschungsvorhaben 105 05 151; Informationsschrift (Sept. 1993)
- [2] Krüger, F. u.a.: Ermittlung von Grundlagen und meßtechnische Untersuchungen zur Schall- und schwingungstechnischen Optimierung von Schienenfahrzeugen für den Regionalverkehr, Band II - Meßtechnische Analyse, BMBF Forschung 19 N 9364 6 (Dez. 1996)
- [3] Hölzl, G. und Ch. Kellermann: Der Hochgeschwindigkeitszug ICE/V – schneller und leiser. Ein Beitrag der DB zum Umweltschutz. ETR 38, H. 1/2 - Januar/Februar '89, S. 47 ff