

Schalldämmung von Fenstern im tiefen Frequenzbereich; der Versuch einer Problemanalyse

K.-W. HIRSCH, E. BUCHTA

(Institut für Lärmschutz, Düsseldorf)

Einleitung

In jüngster Zeit wird der 'Schallschutz im tiefen Frequenzbereich (TiF, kleiner 100 Hz)' in der Literatur häufiger behandelt. Die folgende Analyse möchte einen Beitrag dazu leisten, dieses Thema nicht nur unter dem Aspekt der Erweiterung des bauakustischen Frequenzbereiches (BaF 100 Hz bis 3,15 kHz) zu behandeln, sondern die Diskussion an den grundlegenden Fragen zu orientieren. Dabei steht die Schalldämmung von Fenstern im Zentrum des Interesses.

Zur wachsenden Bedeutung des tiefen Frequenzbereiches

Lärm wird immer stärker als Beeinträchtigung der Lebensqualität empfunden. Die Politik reagiert auf das einhergehende Schutzbedürfnis mit immer höheren Anforderungen an aktive und passive Schallschutzmaßnahmen, die auch den tiefen Frequenzbereich einbeziehen. Dem Schallschutz im tiefen Frequenzbereich wurde allerdings bisher nur wenig Beachtung geschenkt. Das gilt in besonderem Maße für die Regelwerke zur Messung und Bewertung der Schalldämmung von Bauteilen. Die einschlägigen Regelwerke /1,2/ geben keine oder nur unzureichende Hinweise zur Beurteilung der Schalldämmung im tiefen Frequenzbereich.

Der Schallschutz im TiF gewinnt an Bedeutung,

- weil die Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung zeigen, daß tieffrequenter Schall eine höhere Störwirkung auf den Menschen ausübt, als es nach der A-Bewertung zu erwarten wäre.
- weil vermehrt besondere Lärmsituationen ins öffentliche Interesse rücken, die gerade durch tiefe Frequenzkomponenten geprägt werden. (z.B. Schwerlastverkehr, Knalle großkalibriger Waffen)
- weil eingeführte aktive Schallschutzmaßnahmen an der Quelle oder auf dem Schallweg im wesentlichen im BaF wirken.
- weil Schallschutzfenster mit hohen Dämmungen im BaF inzwischen weit verbreitet sind.

Die beiden letzten Thesen bedürfen der Begründung: Bei der Optimierung der Schalldämmung von Fenstern wird die Zielgröße des Optimierungsprozesses aus den geltenden standardisierten Beurteilungsverfahren gewonnen. Dieses Beurteilungsverfahren ist in seinen drei Stufen MESSUNG, BEWERTUNG, BEURTEILUNG bevorzugt oder sogar ausschließlich auf den BaF ausgerichtet.

Eigenschaften der Fenster im tiefen Frequenzbereich können bei der MESSUNG nicht erfaßt werden, da die vorgeschriebenen Meßverfahren dort zunehmend ihre Gültigkeit verlieren. Die BEWERTUNG erfolgt im strengen Blick auf das menschliche Hörvermögen in Anlehnung an die dafür eingeführten bewerteten Schallpegel durch pauschale Einzahlpegelwerte. Die BEURTEILUNG schließlich orientiert sich vorwiegend an der Belästigung durch häufig wesentliche Lärmquellen.

Der so gesteuerte Optimierungsprozeß hat zu Schallschutzmaßnahmen geführt,

- die gerade bei Fenstern die systembedingten Einbrüche im Schalldämm-Maß in den TiF verschieben.
- die in ihrer gemeinsamen Wirkung die Lärmkomponenten im BaF so stark unterdrücken, daß die nun verbleibenden wirksamsten Störanteile nicht nur bei ausgeprägt tieffrequenten Lärmquellen sondern auch bei Standard-Lärmquellen im TiF liegen können.

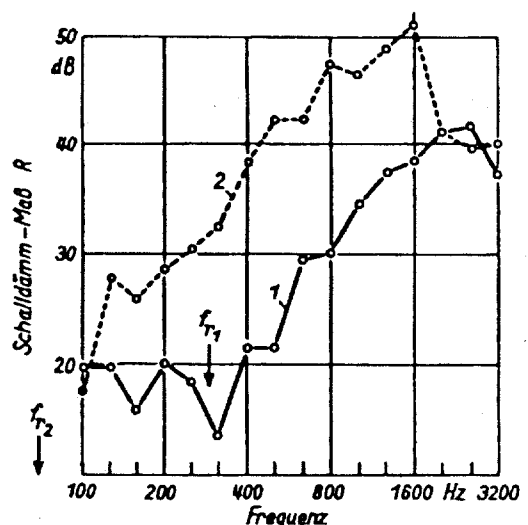


Abb. 1 Schalldämm-Maße zweier Doppelverglasungen mit verschiedenen Scheibenabständen (nach /3/)

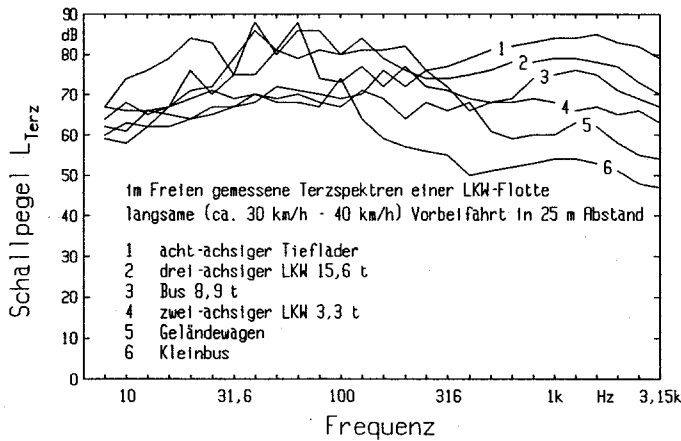


Abb. 2 Mittlere Spektren der Vorbeifahrt einer LKW-Flotte, gemessen in einem Abstand von 25 m

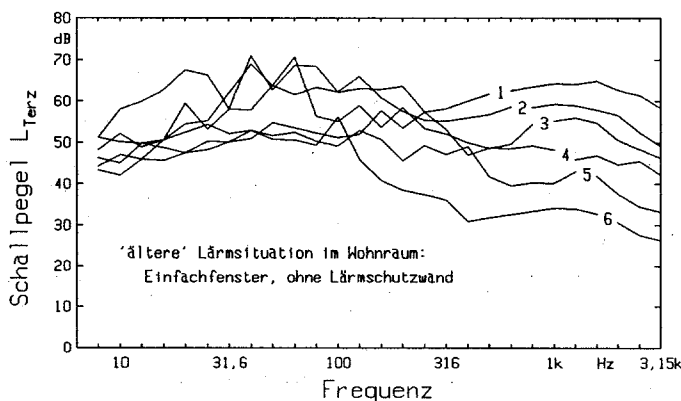


Abb. 3 Projizierte Spektren der LKW-Flotte in einem Wohnraum mit einfachem, „schlechtem“ Fenster

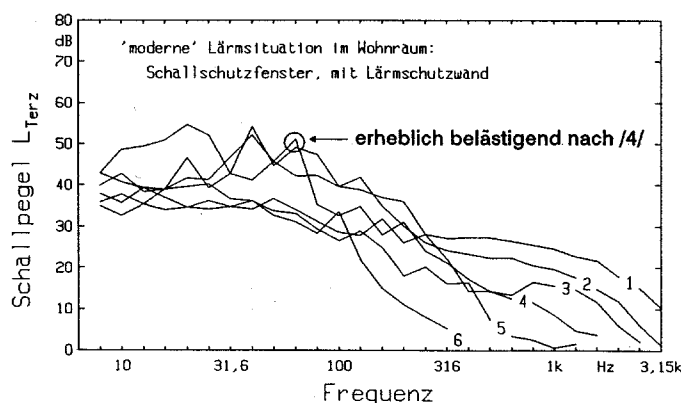
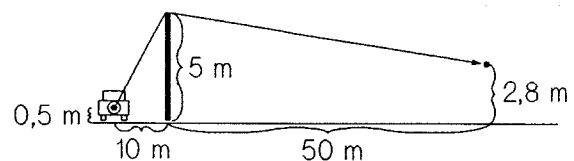


Abb. 4 Projizierte Spektren der LKW-Flotte in einem Wohnraum mit „gutem“ Schallschutzfenster hinter einer Lärmschutzwand

Beide Aspekte sollen an Beispielen aufgezeigt werden:

In der Fassung von 1972 enthält die VDI 2719 /3/ den Vergleich zweier Doppelverglasungen (vgl. Abb. 1 mit 1: Scheibenaufbau [4/LZR 8/4], $f_{r1} = 300$ Hz, $R_w = 29$ dB und 2: [5,5/LZR 100/5,5], $f_{r2} = 72$ Hz, $R_w = 40$ dB) mit dem Kommentar „Je größer der Scheibenabstand, um so höher die Dämmung“. Aus Abb. 1 wird offensichtlich, daß die Steigerung des R_w ganz wesentlich durch die Verschiebung der Scheibenresonanz erreicht wird. Denn bei einer Darstellung der Dämmung über einer auf die Resonanzfrequenz f_r normierten Frequenzachse (unter Berücksichtigung des Massegesetzes) würden beide Verläufe nahezu zur Deckung gebracht. In Abb. 1 deutet sich auch an, daß die Schalldämmung von 1 im oberen TIF günstiger sein wird als die von 2. Einer Verbesserung im BaF steht bei dieser Optimierung also eine Verschlechterung im TIF gegenüber.

Abb. 2 zeigt die in 25 m Abstand aufgenommenen Spektren einer LKW-Flotte. Alle Spektren zeigen wesentliche Anteile im TIF. Mit Hilfe mittlerer Dämmungsverläufe über den TIF und den BaF ausgemessener Gruppen von „guten“ ($R_w > 40$ dB) und „schlechten“ ($R_w < 22$ dB) Fenstern lassen sich Lärmsituationen in einem typischen Wohnraum projizieren. Abb. 3 zeigt die Spektren der LKW-Flotte in einem Wohnraum mit schlechten Fenstern (sogenannte „ältere“ Lärmsituation). Abb. 4 zeigt die Spektren hinter guten Fenstern unter Berücksichtigung der frequenzabhängigen Schirmwirkung einer Wand nach Abb. 5 (sogenannte „moderne“ Lärmsituation).



Schirmwirkung bei Oktav-Frequenzen	
Frequenz	Minderung
2000 Hz	18,7 dB
1000 Hz	16,4 dB
500 Hz	14,8 dB
250 Hz	8,7 dB
125 Hz	9,3 dB
63 Hz	7,5 dB
31,5 Hz	6,2 dB
16 Hz	5,3 dB

Abb. 5

Frequenzabhängige Pegelminderung durch einen Schallschirm nach VDI 2720, "Schallschutz durch Abschirmung im Freien"

Die alte Lärmsituation ist durch Geräusche im BaF geprägt. Nach Einführung von Schallschutzmaßnahmen liegen die nun wirksamen Störkomponenten im TiF. Nach /4/ liegt durch Fahrzeug 4 sogar eine erhebliche Belästigung in der 63-Hz-Terz vor. ($L_{\text{Terz}} = 51 \text{ dB}$, $L_{\text{HS}} = 33,5 \text{ dB}$, $\Delta L_1 = 17,5 \text{ dB}$, Richtwertüberschreitung von 12,5 dB). Aus Abb. 4 folgt, daß der verbleibenden Belästigung durch Verkehrslärm nun durch Maßnahmen im TiF begegnet werden muß.

Die beiden letzten Argumente der obigen Aufzählung lösen den TiF aus seiner 'Ausnahmesituation' im Schallschutz und begründen die Notwendigkeit seiner Berücksichtigung gerade für Standard-Lärmsituationen. Aus der Begründung folgt ebenfalls, daß bei der Analyse des Problems 'Fenster im tiefen Frequenzbereich' alle drei Stufen des Beurteilungsverfahrens auf ihre Anwendung im TiF untersucht werden müssen.

Zur Beurteilung

Zweck des Beurteilungsverfahrens für die Dämmeigenschaften von Fenstern ist die Ermittlung eines Kriteriums, das eine möglichst zuverlässige Prognose über die Rückführung der Geräuschbelastung durch den Einbau der Fenster erlaubt. Diesem Zweck haben sich die MESSUNG und die BEWERTUNG unterzuordnen. Im BaF ist dieses Kriterium das Verhältnis der Schalleistung vor und hinter dem Fenster; das Schalldämm-Maß also eine Differenz zweier Leistungspegel. Wegen der Raumabmessungen typischer Wohnräume und wegen der dort wirksamen Absorption im betrachteten Frequenzbereich ist von einem räumlich diffusen, breitbandigen Schallfeld auszugehen, das auf den Menschen wirkt. Im Gegensatz dazu ist das Schallfeld im TiF eher räumlich strukturiert und setzt sich aus schmalbandigen Komponenten zusammen. Verfahren zur Bestimmung der Leistung müßten diese Tatsache durch eine entsprechende Meßtechnik berücksichtigen. Da das Ohr im wesentlichen ein Schalldruckempfänger ist, stellt sich allerdings grundsätzlich die Frage, ob hier nicht ein Kriterium zu wählen ist, das eben diese Feldgröße bzw. ihren Effektivwert allein zugrundelegt, so wie es de facto in /2/ durch die Abstützung des R auf den Schallpegeldifferenzen vorgegeben ist.

Zur Bewertung

Im BaF beschreiben A-bewertete Pegel hinreichend zuverlässig die Belästigungsreaktion. Entsprechend ist in den Bewertungsvorschriften zur Schalldämmung von Fenstern im BaF der Einfluß der A-Bewertung deutlich. Im TiF dagegen ist dies keine allgemein akzeptierte Erkenntnis, vgl. /4,5/. Neuere Untersuchungen /6/ der Belästigung durch besonders tieffrequente Fahrzeuge (Schwerlastverkehr und Kettenfahrzeuge) zeigen, daß die A-Bewertung die Belästigungen unterschätzen kann, während Lautheitskalküle bessere Prognosen liefern. Es sollte daher grundsätzlich in Erwägung gezogen werden, ob die Bewertung im TiF z.B. in Anlehnung an ein Lautheitskriterium definiert werden kann.

Zur Messung

Im BaF ist die Zielgröße ein Leistungsverhältnis, die Meßgröße allerdings der Schalldruck. Dieser indirekte Zugriff auf die Zielgröße bedarf daher einer Modellbildung bei der Messung mit weitreichenden Näherungen (diffuses Schallfeld, lokale Schalleitungsmechanismen) und impliziten Randbedingungen (starre Wände, Vernachlässigung der Flankenübertragung), die dann in Verbindung mit einer weitgehenden Standardisierung der Meßmethode (Beschallungsrichtung, Terzbandbreite, Mittelungsverfahren der Schalldruckmessung), des Prüfraumes (Mindestvolumen, Geometrie) und des Prüflings (Abmessungen, Einbau) zu reproduzierbaren und aussagekräftigen Ergebnissen führt. Das im BaF zugrunde gelegte Verfahren wird unbrauchbar, wenn das Modell auch nur in Teilaspekten nicht mehr gilt. Und das ist im TiF für mehrere Aspekte der Fall. Eine Erweiterung des Meßverfahrens durch Zusatzvorschriften - z.B. besondere Raumkurven bei der Mittelung des p^2 - werden letztlich nicht zu zuverlässigen Methoden führen, weil die Schalleitung im TiF von vornherein durch Ganzkörperschwingungen des Fensters (und der übrigen Bauumfassungsteile) und nicht durch lokal reagierende Trägheiten bzw. Steifigkeiten bestimmt wird.

Das Konzept eines neu zu entwickelnden Meßverfahrens sollte darauf dem Grunde nach abgestimmt werden. Das kann z.B. bedeuten,

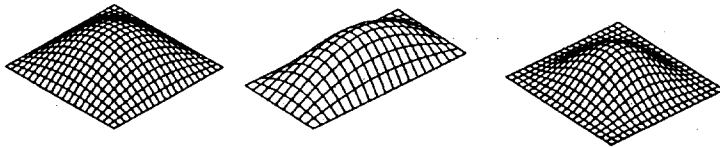
- daß der 'Prüfraum' so klein gewählt wird, daß gerade keine Raummoden angeregt werden können.
- daß die Wände so ausgelegt werden, daß ihre Resonanzen oberhalb des interessierenden Frequenzbereiches liegen.
- daß die Messung des Schalldruckes ergänzt wird durch eine Messung der für die Kopplung des Luftschalls an die Festkörperschwingungen wichtigen Normalschnelle der Scheiben, des Rahmens und der Wände.

Auch ein solches Modell erfordert Näherungen und Vernachlässigungen, die aber immer besser erfüllt sein sollten, je tiefer die Testfrequenz gewählt wird.

Zur Charakterisierung von Fenstern

Wesentliche, die Schalldämmung bestimmende Eigenschaften einer Fensterscheibe im BaF sind Scheibendicken und Scheibenzwischenräume. Diese Parameter erfassen die lokalen Eigenschaften des Fensters, die den Durchbruch im Schalldämmverlauf bei der Scheibenresonanz, die Spuranpassung und die flächenbezogene Masse bestimmen. Im TiF dagegen dominiert zunehmend das Spektrum der elasto-dynamischen Ganzkörper(Platten-)schwingungen die Schalleitung. Bei den Resonanzfrequenzen dieses Spektrums werden Einbrüche im Dämmverlauf beobachtet. Diese Schwingungen hängen besonders von den Abmessungen des Fensters und von den Einspannbedingungen ab. Durch eine geeignete Wahl der Einspannung, der absoluten Fenstergröße und des Seitenverhältnisses lassen sich Fenster im TiF optimieren oder auf eine besondere Lärmsituation auslegen, ohne ihre Dämmeigenschaften im BaF wesentlich zu beeinflussen.

Ein Beurteilungsverfahren sollte dieser Möglichkeit Rechnung tragen. Das bedeutet einerseits, daß Fenster verschiedener Größe, Seitenverhältnisse und Einspannungen zu prüfen sind und alle notwendigen Parameter zur Charakterisierung des Prüflings dokumentiert werden sollten. Das bedeutet andererseits, daß das Ergebnis nicht nur ein Einzahlwert oder ein Spektrum sein sollte, sondern ein Nomogramm, das den Parameterraum aus Fensterabmessungen und Einspannungen abdeckt.



	Seitenverhältnis	Lagerung	f
links	1 : 1	momentenfrei	f_0
mitte	1 : 2	momentenfrei	$2,53 f_0$
rechts	1 : 1	fest eingespannt	$1,82 f_0$

Abb. 6 Grundschwingung einer Platte nach /8/

Die Resonanzfrequenz f der für die Schalleitung besonders wichtigen Grundschwingung des Fensters (vgl. /7/)- also der Einbruch der Schalldämmung im TiF - läßt sich beispielsweise durch Veränderung der Lagerung oder des Seitenverhältnisses genauso verschieben, wie es für die Scheibenresonanz in Abb. 1 durch Variation des Scheibenabstandes möglich ist. Abb. 6 zeigt beide Möglichkeiten am Beispiel einer quadratischen Platte.

Zusammenfassung

Wegen der zunehmenden Bedeutung des Schallschutzes im tiefen Frequenzbereich ist es erforderlich, ein besonderes Beurteilungsverfahren für die Schalldämmung von Fenstern im TiF zu entwickeln, das das Verfahren im bauakustischen Frequenzbereich ergänzt. Zweck des anzustrebenden Verfahrens ist die Bereitstellung von Qualitätsmerkmalen, die einerseits eine Optimierung der Fensterkonstruktionen auf Herstellerseite ermöglicht und andererseits dem Berater gestattet, bei der Auswahl von Fenstern die besondere Lärmsituation und die besondere Einbausituation vor Ort zu berücksichtigen.

Literatur

- /1/ DIN 4109: „Schallschutz im Hochbau“, 1989
- /2/ DIN 52210: „Luft- und Trittschalldämmung“, 1987
- /3/ VDI 2719: „Schalldämmung von Fenstern“, 1972
- /4/ DIN 45680: „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft“
- /5/ Kubicek, R.: „Vorkommen, Messung, Wirkung und Bewertung von extrem tieffrequenten Schall einschließlich Infraschall in der kommunalen Wohnumwelt“, Dissertation, Technische Hochschule Zwickau
- /6/ Buchta, E.; Krahe, D.: „Zur Bestimmung des Emissionspegels von schweren Lkw und Kettenfahrzeugen“, Fortschritte der Akustik - DAGA '92, Berlin 1992
- /7/ Hirsch, K.-W.; Buchta, E.: „Zur Schalldämmung von Fenstern bei tieffrequenter, impulshaltiger Anregung“, Fortschritte der Akustik - DAGA 90, Wien, Bad Honnef: DPG-GmbH, S.221-214
- /8/ Bardell, N. S.: „Free Vibration Analysis of a Flat Plate Using the Hierarchical Finite Element Method“, Journal of Sound and Vibration (1991)151(2),S.263-289