

Akustische Eigenschaften von Pkw-Stirnwänden

Paul Geissler, Elmar Schröder

Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg bei München, Deutschland, Email: paul.geissler@muellerbbm.de

Einleitung

Die Stirnwand trennt den Innenraum vom Motorraum, in dem der Motor Körperschall und Luftschall erzeugt. Sie soll die vom Motor erzeugten und in der Karosserie weitergeleiteten Körperschall- und Luftschallwellen a) möglichst wenig eindringen lassen und b) eindringende Wellenanteile möglichst gut dämpfen.

Die akustischen Anforderungen lassen sich allgemein durch die Kopplungs- und Dämpfungsverlustfaktoren des Systems Stirnwand – oder gleichwertige Größen wie z.B. Schalldämm-Maß, Abstrahlgrad, Absorptionsgrad – beschreiben. Diese Größen werden bei Müller-BBM standardmäßig in Prüfeinrichtungen gemessen, meist für Hersteller und Zulieferer von Karosseriebauteilen, die korrekte Eingangsgrößen für moderne Simulationsverfahren benötigen.

Daneben besteht in der Pkw-Entwicklung der Bedarf, eine qualifizierte Entscheidung zwischen unterschiedlichen Stirnwandvarianten treffen zu können, wobei neben den Auswirkungen auf die Innenraumakustik weitere wesentliche Eigenschaften wie die Steifigkeit und die Masse der Trennwand berücksichtigt werden müssen.

Über die Entwicklung der Messverfahren und geeigneter Bewertungskenngrößen wird im Folgenden berichtet.

Untersuchte Stirnwandtypen

Die bisher untersuchten Varianten lassen sich grob in folgende Typen einteilen:

- A: Stahlbleche mit Dämpfungsbelag,
- B: Strukturierte Stahlblech ohne Dämpfungsbelag,
- C: Kohlefaserkonstruktionen.

Typ A wird derzeit bei Pkw als Standard eingesetzt: Ein einfach versicktes Stahlblech (meist 0,8 mm dick) wird mit einer Bitumenfolie oder Aluminium-Sandwichfolie belegt. Dieser Typ hat flächenbezogene Massen von etwa 10 kg/m^2 . Die Dämmung ist deshalb ausreichend, die Dämpfung ebenfalls und die Abstrahlung relativ gering. Probleme treten bei tiefen Frequenzen auf, besonders dann, wenn über Frequenz und Modenform der ersten Biegemoden eine Kopplung mit dem Luftschallfeld des Innenraums vorliegt. Bei Typ B und Typ C wird versucht, die Steifigkeit zu erhöhen und gleichzeitig den Dämpfungsbelag einzusparen. Die Eigenfrequenzen der ersten Biegemoden sollen an den möglichst außerhalb des von den typischen Hauptmotorordnungen angeregten Frequenzbereichs (beim 4-Zylindermotor unter etwa 200 Hz) zu liegen kommen. Bei den Typen B und C werden außerdem nicht-akustische Vorteile gesehen: ohne Dämpfungsfolie sind Bauteile einfacher rezyklierbar, und aufgrund

der im Vergleich mit Typ A geringeren flächenbezogenen Masse (bei bisher untersuchten Varianten des Typs B bei etwa $6,2 \text{ kg/m}^2$ für 0,8 mm Stahl, bei solchen vom Typ C zwischen $1,6 \text{ kg/m}^2$ und $8,8 \text{ kg/m}^2$) sind Verbrauch und CO_2 -Emission geringer.

Messverfahren

Alle untersuchten Proben waren 540 mm breit und 740 mm lang. Auf jeder Seite waren 20 mm als umlaufender Rand für die Einspannung des Bauteils vorgesehen. Die gewählten Abmessungen entsprechen etwa der halben Fläche einer Pkw-Stirnwand, sind leicht herzustellen und gut handhabbar.

Die Messverfahren wurden aus standardisierten oder anerkannten Verfahren abgeleitet. Die Verfahren wurden mit Blick auf die Simulationsverfahren so erweitert, dass die Ergebnisse für einen möglichst großen Frequenzbereich gelten.

Die Verlustfaktoren für Körperschall wurden nach der Methode von Bies und Hamid [1] bestimmt. Aus der Bilanzgleichung der SEA für ein aus 2 Subsystemen bestehendes Gesamtsystem kann man Bestimmungsgleichungen für die beiden Kopplungsverlustfaktoren η_{12} und η_{21} herleiten, in denen alle unbekanntes Größen messbar sind. Für die Messung wurde die zu prüfende Stirnwandvariante mit einer großen, leichtgedämpften „Hallplatte“ (stellvertretend für die Karosserie) gekoppelt (Abb. 1).

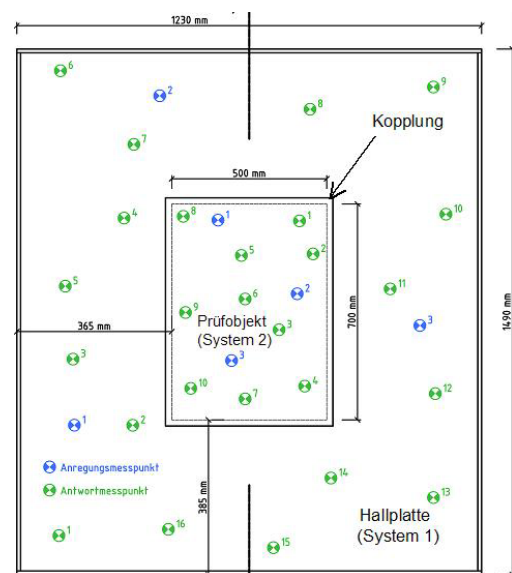


Abbildung 1: Anordnung zur Verlustfaktormessung.

Zusätzlich wurde bei Anregung der Hallplatte das Verhältnis γ der mittleren Schnellequadrate auf dem Prüfling, $\langle v_2^2 \rangle$, und der Hallplatte, $\langle v_1^2 \rangle$, bestimmt, das den Widerstand kennzeichnet, den die Biegeellen der Hallplatte an der Kopplung zum Prüfling hin „sehen“.

$$\gamma = \frac{\langle v_2^2 \rangle}{\langle v_1^2 \rangle} \quad (1)$$

Die Kopplungsverluste der Luftschallwellen an der Stirnwand werden durch das Schalldämm-Maß R charakterisiert. Das in einer Zwei-Raum-Anordnung nach [2] normierte Messverfahren wird so erweitert, dass es die Oktaven von 125 Hz bis 8000 Hz umfasste. Teilweise wurde auch die Intensitätsmesstechnik gemäß [3] angewendet.

Zur Charakterisierung der Abstrahlung wurde ebenfalls in einer Zwei-Raum-Anordnung der Abstrahlgrad [4] bei punktförmiger Körperschallanregung, σ_p , gemessen.

$$\sigma_p = \frac{P}{\rho c S \langle v_1^2 \rangle} \quad (2)$$

Hierbei sind $\langle v_1^2 \rangle$ das räumlich gemittelte Schnellequadrat und S die Fläche des abstrahlenden Prüflings, P ist die in den Empfangsraum abgestrahlte Schallleistung und ρc die charakteristische Impedanz von Luft.

Zusätzlich wurde der Abstrahlgrad bei gewichteter umlaufender Körperschallanregung, σ_{uw} , gemessen.

$$\sigma_{uw} = \frac{P}{\rho c S \gamma \langle v_1^2 \rangle} \quad (3)$$

Bei dieser Messung wird die in Abb.1 gezeigte Prüfanordnung als Trennwand der Zwei-Raum-Anordnung verwendet. Im Unterschied zu Abstrahlgrad σ_p wird bei σ_{uw} die Hallplatte direkt und der Prüfling indirekt, aber wie im Pkw über den gesamten Rand angeregt. Die vom Prüfling in den Empfangsraum abgestrahlte Leistung wird gemessen, wobei gleichzeitig die Abstrahlung der Hallplatte durch eine Abdeckung auf der Empfangsraumseite sorgfältig gedämmt wird. Um eine mögliche Beeinflussung der Kopplung zwischen Prüfling und Hallplatte durch die Abdeckung zu kompensieren, wird das mittlere Schnellequadrat des Prüflings mit γ gewichtet. Durch die Gewichtung wird berechnet, welches mittlere Schnellequadrat sich einstellen würde, wenn keine Abdeckung vorhanden wäre.

Mit den beschriebenen Verfahren können für Karosseriebauteile alle in Simulationsprogrammen üblichen Eingangsgrößen gemessen werden.

Im Hinblick auf die Bewertung werden für jede Variante auch die flächenbezogene Masse m'' in kg/m^2 und – durch experimentelle und rechnerische Modalanalysen mit automatischer Modellanpassung – die Biegesteife B' (bei orthotropen Bauteilen B_x' und B_y') bestimmt.

Bewertungsverfahren

Es liegt nahe, für die Bewertung die frequenzabhängigen Ergebnisse zu verdichten und mit Hilfe von geeigneten Einzahlwerten eine Rangfolge unter den Merkmalswerten zu bilden. Dabei bleibt allerdings der Aspekt der Körperschallweiterleitung über die Kopplung außer acht. Es ist bekannt,

dass versteifte bzw. strukturierte Bauteile stärker abstrahlen als unstrukturierte Varianten. Wenn jedoch im Pkw das Eindringen von BiegeWellen aus einer durchschnittlich 0,8 mm dicken Stahlkarosserie durch eine strukturierte oder dickere Stirnwand behindert wird, kann die geringere Anregbarkeit möglicherweise die stärkere Abstrahlung kompensieren.

Um diese Überlegungen in die Bewertung einfließen zu lassen, wurde folgender „Bewertungspegel“ L_B eingeführt:

$$L_B = R - 10 \lg \sigma_{uw} \quad (4)$$

Durch die Summation des über der Frequenz ansteigenden Schalldämm-Maßes und des ebenfalls ansteigenden, aber im negativen Wertebereich liegenden Abstrahlmaßes zeigt der Bewertungspegel einen über der Frequenz relativ konstanten Verlauf. Dies lässt eine sinnvolle Mittelwertbildung und Absolutbewertung zu.

Ergebnisse

Abb. 2 zeigt beispielhaft den Verlauf des Bewertungspegels für die jeweils akustisch beste Variante innerhalb der untersuchten Stirnwandtypen.

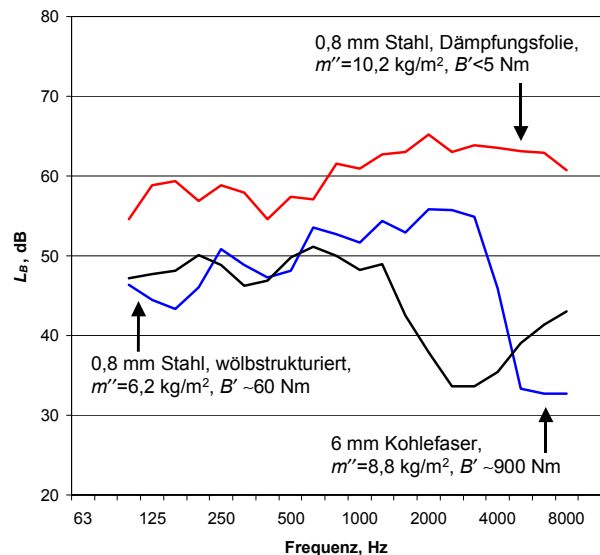


Abbildung 2: Beispielhafte Bewertungspegel für Stirnwände: Typ A (rot), Typ B (blau), Typ C (schwarz).

Literatur

- [1] D. A. Bies, S. Hamid; In-Situ Determination of Loss and Coupling Loss Factors by the Power Injection Method, J. Sound Vib., 70, 1, 187-204 (1980).
- [2] DIN EN ISO 140-3:2005-03, Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 3: Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen.
- [3] DIN EN ISO 15186-1:2003-12, Akustik - Bestimmung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen aus Schallintensitätsmessungen - Teil 1: Messungen im Prüfstand.
- [4] L. Cremer; M. Heckl; Körperschall, 2. Auflage, Springer, Berlin (1996).