

Charakterisierung von Fahrzeug-Innenraumverkleidungen im Frequenzbereich bis 500 Hz

Peter van der Linden¹, Werner Mahu¹, Eike Brechlin¹, R. Di Sante², D. Storer³

¹⁾ LMS Engineering Services, Belgien

²⁾ Universität von Ancona, Italien

³⁾ Centro Ricerche Fiat, Italien

1. Einleitung

Der akustische Gesamteindruck eines Fahrzeugs wird entscheidend durch die akustischen und mechanischen Eigenschaften der Innenraumverkleidungen bestimmt. Durch die Auswahl geeigneter Materialien können erhebliche Verbesserungen bei der Luftschalldämmung und -dämpfung als auch bei der Körperschalldämpfung erzielt werden. Das Verhalten dieser Materialien ist mittlerweile in mittleren und hohen Frequenzbereichen ausreichend gut verstanden und kann über geeignete Modelle, etwa auf der Grundlage statistischer Energiebetrachtungen, auch für numerische Vorhersagen verwendet werden. In tieferen Frequenzbereichen, die typischerweise mit Hilfe von Finite Elemente Modellen, experimentellen Modal-Modellen und Übertragungsmatrizen beschrieben werden, verlieren diese Modelle jedoch oft ihre Gültigkeit. Im Folgenden werden einige Ergebnisse experimenteller Untersuchungen bzgl. der akustischen und mechanischen Einflüsse von Innenraumverkleidungen im Frequenzbereich bis 500 Hz sowie Ansätze zur Einbeziehung dieser Eigenschaften in numerische Modelle (FEM, BEM) vorgestellt.

2. Messungen am Gesamtfahrzeug

Zur Untersuchung ihrer mechanischen und akustischen Eigenschaften wurden die Innenraumverkleidungen einer vollverkleideten Karosserie (inkl. Türen, Fenster, aber ohne Motor, Getriebe, Radaufhängung etc.) eines Fiat Punto schrittweise entfernt. Bei jedem dieser Schritte wurden verschiedene mechanische Übertragungsfunktionen $H_{xF} = \ddot{x}/F$ sowie vibro-akustische Übertragungsfunktionen $H_{pF} = p/F$ gemessen und ihre räumlichen Mittelwerte gebildet. Der Gesamteinfluß der verschiedenen Verkleidungen auf den Mittelwert der vibro-akustischen Übertragungsfunktionen ist in Abb. 1 dargestellt. Zusätzlich zu den krafterregten Übertragungsfunktionen wurden die Mittelwerte von akustischen Übertragungsfunktionen $H_{pQ} = p/Q$ ermittelt, die mit Hilfe einer kalibrierten niederfrequenten Volumenschallquelle gemessen wurden.

Für die Beurteilung der Einflüsse wurden die verschiedenen Komponenten und Verkleidungen in Untergruppen eingeteilt

1. Aufmontierte Systeme (Instrumententafel, Lüftungs- und Heizungskomponenten, Brems- und Lenksystem etc.)
2. Aufmontierte Einzelkomponenten (Batterie, Ersatzrad, Fensterhebermotor, Airbags, Scheibenwischer etc.)
3. Flächenverkleidungen (Bodenverkleidung, Sitzbänke, Türverkleidungen, Hutablage, Dachverkleidung etc.)

Der qualitative Einfluß dieser Komponenten auf die mechanischen und akustischen Übertragungsfunktionen ist in Tab. 1 hinsichtlich der folgenden Effekte dargestellt:

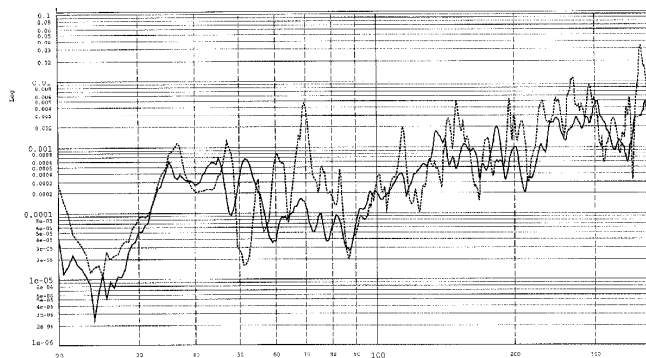


Abb. 1: Typische Variation einer gemittelten vibro-akustischen Übertragungsfunktion während der verschiedenen Messungen

- Erhöhung der Strukturdämpfung
- Verschiebung von Eigenresonanzen der Struktur
- Verschiebung vibro-akustischer Übertragungsfunktionen
- Erhöhung der Luftschalldämpfung/-absorption
- Verschiebung der Resonanzfrequenzen des Innenraums.

Erwartungsgemäß hatten die Flächenverkleidungen (Boden, Sitze, Türen, Dach, Instrumententafel) den größten Einfluß auf die akustischen Größen und einen mittleren bis starken Einfluß auf die strukturdynamischen Eigenschaften der Fahrzeugkarosserie. Der Einfluß der zusätzlichen System- und Einzelkomponenten beschränkt sich hauptsächlich auf den Frequenzbereich unterhalb 60 Hz.

	small		moderate		strong	
	increase structural damp	shifts structural modes	shift vibro-acoustic FRF	increase acoustic damp	shifts acoustic modes	
body mounted systems						
dashboard, instrument panel						
heating, air-conditioning						
radiator-vent, fuel tank						
brake system, steering system						
body mounted components						
battery, spare wheel						
window-motors, airbags,						
screen-wipers, bumper shells						
lights, electric modules, etc						
surface covering trim						
carpets, sandwich isolators						
seats, benches						
door-covers, hat-shelf, pillar trim						
damping pads						
absorbent pads, roofliner						

Tabelle 1: Qualitativer Einfluß der verschiedenen Bauteilgruppen auf die mechanischen und akustischen Eigenschaften

Um die Einflüsse der Innenraumverkleidungen näher zu untersuchen, wurde zusätzlich zu den Übertragungsfunktionsmessungen am ausgestatteten Fahrzeug eine Flächenbeitragsanalyse für den Boden sowie ein Türpanel durchgeführt [1,2,4].

3. Messung der mechanischen und akustischen Eigenschaften der Verkleidungen

Für die numerische Vorhersage der Einflüsse der Verkleidungen auf das mechanische und akustische

Verhaltens von Fahrzeugen werden vereinfachte Modelle ihrer mechanischen und akustischen Übertragungsfunktionen benötigt, die sich leicht in bestehende CAE Verfahren (FEM, BEM) integrieren lassen. Für die Ableitung dieser Modelle werden die mechanischen und akustischen Übertragungseigenschaften und die akustische Impedanz benötigt.

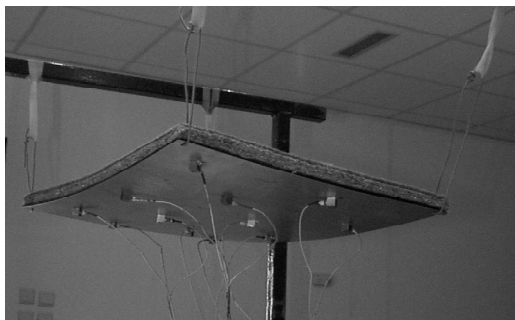


Abb. 2: Meßaufbau zur Bestimmung der strukturdynamischen Eigenschaften der Verkleidung

Die Durchlässigkeit („Transmissibility“) $T = p_T / p_S$ bzgl. der Schalldrücke überhalb und unterhalb der Verkleidung läßt sich experimentell über das Verhältnis zweier reziprok gemessener vibro-akustischer Übertragungsfunktionen

$H_{p\dot{Q}} = p / \dot{Q}$ bestimmen, bei denen der Schalldruck überhalb der Verkleidung bzw. direkt überhalb der Stahlbleche (d.h. unterhalb der Verkleidung) gemessenen. Durch Mittelwertbildung über mehrere Meßpunkte kann auf diese Weise eine für die gesamte Teilfläche charakteristische Durchlässigkeit bzgl. der Schalldrücke bestimmen, die als lokale Größe in FE und BE Modelle integriert werden kann. Ebenso kann die akustische Impedanz $Z = p / v$ näherungsweise als das Verhältnis des direkt überhalb der Verkleidung gemessenen Schalldrucks und der auf der Struktur gemessenen Schnelle bestimmt werden. Die Anregung erfolgte dabei wiederum mit einer niederfrequenten Volumenschallquelle.

4. FE-Modellierung einer geschichteten Platte

Zur Ableitung von einfachen Ersatzmodellen wurden mit Hilfe der MSC/NASTRAN und der LMS VIOLINS Software zunächst detaillierte FE Modelle von verkleideten Wandflächen erstellt. Die Verkleidungen wurden dabei als geschichtete Verbundplatten dargestellt, bei denen jeder einzelnen Schicht die bekannten bzw. geschätzten mechanischen Eigenschaften (Elastizitätsmodul, Dichte, Verlustfaktor) bzw. akustische Eigenschaften (Porösität, Strukturfaktor, Wärmeleitzahl, Verlustfaktor etc). zugeordnet wird. Mit Hilfe eines iterativen Optimierungsprozesses innerhalb der LMS OPTIMUS Software können diese Parameter hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den gemessenen Übertragungseigenschaften angepaßt werden [5].

Ausgehend von auf den angepaßten FE Modellen der Verbundplatten werden in einem letzten Schritt äquivalente Modelle abgeleitet werden, bei denen die verschiedenen

Materialparameter der einzelnen Schichten durch äquivalente Parameter ersetzt werden (siehe Abb. 3)

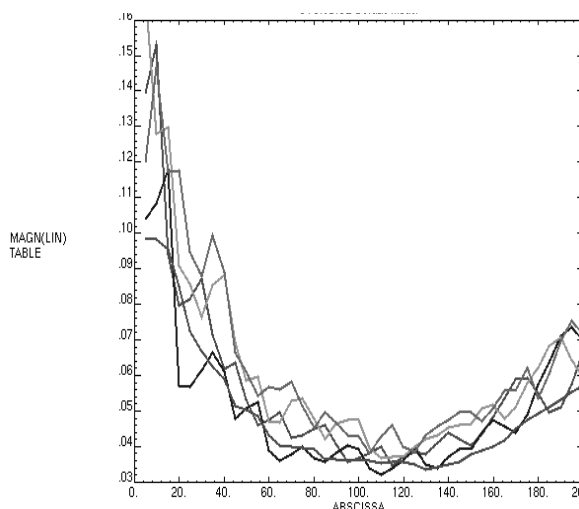


Abb. 3 Berechneter äquivalenter Verlustfaktor einer als geschichteten Verbundplatte modellierten Verkleidung für verschiedene Randbedingungen und Materialeigenschaften

5. Zusammenfassung

Die experimentellen Untersuchungen zeigten, daß Innenraumverkleidungen einen bedeutsamen Einfluß auf die mechanischen und akustischen Eigenschaften eines Fahrzeugs haben und daher bei numerischen Simulationen stets berücksichtigt werden müssen. Auf der Grundlage experimentell bestimmter Übertragungsfunktionen und Impedanzen wurden zunächst detaillierte FE-Modelle der Verkleidungen erstellt, aus denen schließlich einfachere Ersatzmodelle abgeleitet wurden. Diese Modelle können aufgrund ihrer geringeren Anzahl an Parametern leicht in bestehende FEM- bzw. BEM-Modelle der Gesamtkarosserie integriert werden.

Referenzen

1. Mason, F. Fahy. *Application of a Reciprocity Technique for the Determination of the Contribution of Various Regions of Vibrating Body to the Sound Pressure at a Receiver Point*, Proc. of the Institute of Acoustics, Vol. 12 (1), 1990; p 409-476.
2. P. van der Linden, Ph. Varet. *Experimental Determination of Low Frequency Noise Contributions of Interior Vehicle Body Panels in Normal Operation*, SAE960194
3. P. van der Linden, Mantovani. *The Validity of Reciprocal Acoustic Transfer Function Measurements on Trucks for Pass-By Noise*, Internoise 1996
4. P. van der Linden, K. Michiels, D. Storer. *Test-based identification of panel noise contribution and of structural mode noise contributions of a body in white*. I- MechE 2000.
5. Joost Van de Peer. *Using OPTIMUS and VIOLINS to derive an equivalent shell Model for Multi-layered structures*. SYSNOISE Users Meeting 1997.