

TPA Schienenfahrzeuge – Körperschallübertragung Drehgestell

Randolf Arndt¹, Karoly Jalics¹, Gerald Schleinzer², Hans-Herwig Priebisch¹

¹Akustikkompetenzzentrum, A-8010 Graz, Austria, Email: randolf.arndt@accgraz.com

²Siemens Transportation Systems, A-8021 Graz, Austria, Email: gerald.schleinzer@siemens.com

Einleitung

Die hohen Geschwindigkeiten der Reisezüge und die gestiegenen Komfortansprüche der Fahrgäste stellen erhöhte Ansprüche an das Drehgestell. Es ist daher erforderlich, die Körperschallweiterleitung vom Drehgestell in den Reisezugwagen zu verringern.

Im Rahmen dieses von Siemens beauftragten Forschungsprojektes wurde bei einem Reisezugwagen eine Geräuschübertragungsweganalyse vorgenommen. Zuerst wurde dabei im Stillstand unter künstlicher Anregung das Übertragungsverhalten zwischen verschiedenen Punkten des Drehgestells und dem Fahrgastinnenraum gemessen. Anschließend wurden auf der Strecke Graz-Wien Beschleunigungs- und Luftschallmessungen im regulären Fahrbetrieb vorgenommen. Auf Basis dieser Daten wurden danach die Geräuschübertragungsanteile der einzelnen Pfade entwickelt, wobei sowohl die Matrixmethode als auch die Eingangsinertanzmethode zur Kraftbestimmung eingesetzt wurden.

Im Rahmen des Projektes konnte gezeigt werden, dass diese im PKW Bereich schon vielfältig eingesetzte Methode auch im Bereich der Schienenfahrzeuge gut angewendet werden kann, wenn bestimmte Randbedingungen eingehalten werden.

Grundlagen Transferpfadanalyse

Bei der Transferpfadanalyse geht es darum herauszufinden, wie hoch an ausgewählten Referenzpunkten der Geräuschübertragungsweganteil über die einzelnen Pfade ist.

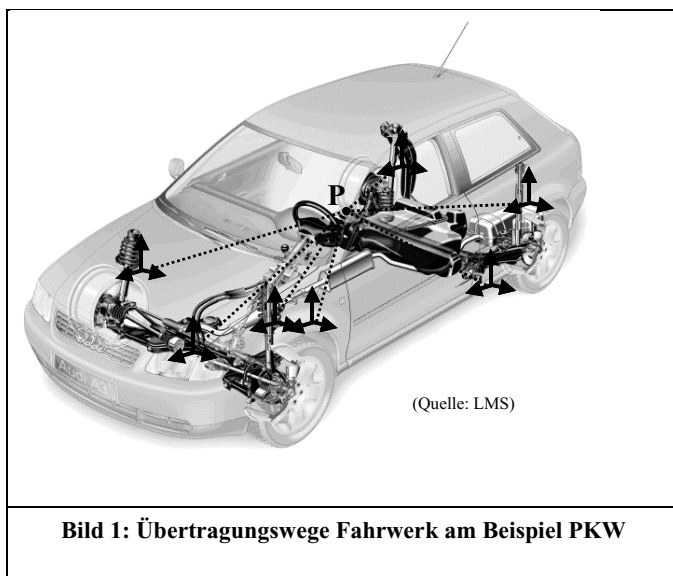


Bild 1: Übertragungswege Fahrwerk am Beispiel PKW

Der Geräuschübertragungsweganteil wird dabei folgendermaßen berechnet:

$$P = \underbrace{\sum_i F_{B_i} \cdot FRF_{K_i} (P_{innen} / F_Q)}_{\text{Körperschall}} + \underbrace{\sum_j P_{B_j} \cdot FRF_{K_j} (P_{innen} / P_Q)}_{\text{Luftschall}}$$

Legende:
 B : Messung im Betrieb (z.B.: Konstantfahrt bei 120 km/h)
 K : Messung bei künstlicher Anregung (z.B.: unter Impulshammeranregung)
 innen : Messung innen im Reisezugwagen (z.B.: im Sitzbereich der Fahrgäste)
 Q : Anregung an der Geräuschquelle der Betriebsmessung
 FRF : Abkürzung für Übertragungsfunktion (Frequency Response Function)

Folgende Schritte sind dazu nötig:

1. Festlegen der zu untersuchenden Übertragungspfade

Die Synthese des Gesamtgeräusches aus den einzelnen Übertragungsweganteilen wird nur dann das korrekte Ergebnis liefern können, wenn alle relevanten Pfade berücksichtigt werden. Dabei muss prinzipiell zwischen Körperschall- und Luftschallübertragungswegen unterschieden werden.

2. Messen der Übertragungsfunktionen

Es sind hierzu die Übertragungsfunktionen vom Referenzpunkt bezogen auf eine Kraftanregung an den Übertragungsstellen (Körperschall) und bezogen auf eine Anregung mittels Volumenschallquelle (Luftschall) zu bestimmen

3. Betriebsmessungen

Unter Betriebsbedingungen müssen die Kräfte an den Koppelstellen bestimmt werden (Details: siehe Kraftbestimmung)

4. Bestimmen Geräuschübertragungsweganteile

Aus den Ergebnissen von 2. und 3. werden die Geräuschübertragungsweganteile bestimmt.

Kraftbestimmung

1. direkte Kraftmessung

Bei der direkten Kraftmessung wird ein Kraftsensor an der Koppelstelle angebracht und es wird direkt die Kraft triaxial gemessen. Da die Montage extrem aufwendig und teuer ist, wird dieses Verfahren üblicherweise nicht angewendet.

2. Steifigkeitsmethode

Bei der Steifigkeitsmethode müssen an der aktiven und passiven Seite der Übertragungsstelle die Wege bestimmt werden. Üblicherweise geschieht dies durch Messen der

Beschleunigungen, verbunden mit einer anschließend zweimaligen Integration.

$$F(\omega) = K(\omega) [X_a(\omega) - X_p(\omega)]$$

Für die Kraftbestimmung muss zusätzlich noch die dynamische Steifigkeitskennlinie des Übertragungselementes bekannt sein. Bei PKW Motorlagern beispielsweise liegen solche Werte häufig vor oder können auch gemessen werden. Im Bereich der Schienenfahrzeuge gibt es üblicherweise keine geeigneten Daten.

3. Matrixmethode

Bei der Matrixmethode wird die Kraft mit Unterstützung einiger zusätzlicher Übertragungsfunktionsmessungen bestimmt:

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ \dots \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddot{X}_{11} & \ddot{X}_{12} & \dots & \ddot{X}_{1n} \\ F_1 & F_1 & \dots & F_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \ddot{X}_{m1} & \dots & \dots & \ddot{X}_{mm} \\ F_1 & \dots & \dots & F_n \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \dots \\ \ddot{x}_m \end{Bmatrix}$$

Als Spezialfall der Matrixmethode gibt es noch die Eingangsinertanzmethode. Bei dieser Methode werden nur die Übertragungsfunktionen auf der Hauptdiagonalen bestimmt. Dies vereinfacht zwar das Invertieren, aber aufgrund der geringeren Datenbasis ist der Fehler bei der Eingangsinertanzmethode üblicherweise größer als bei der Matrixmethode.

Anwendung der TPA beim Fahrwerk eines Reisezugwagens

Die TPA Untersuchungen wurden an einem Reisezugwagen durchgeführt. Dabei wurde nur die Körperschallübertragung untersucht:



Bild 2: Untersuchung des Geräusches im Reisezugwagen aufgrund Drehgestellanregung

Für die Untersuchung der Geräuschübertragung sowie die Kraftbestimmung wurden folgende Messpunkte verwendet:

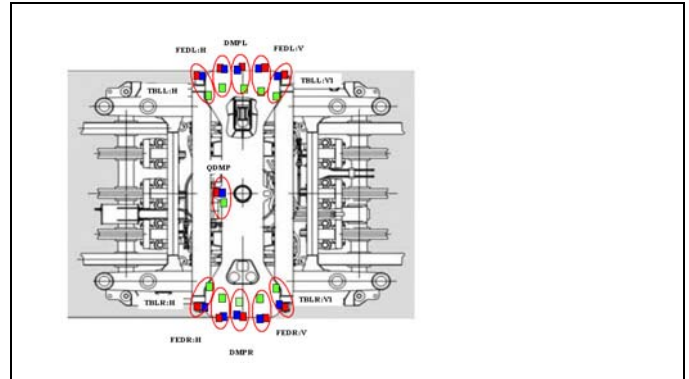


Bild 3: Messpunkt Eingangsinertanzmethode (blau); Zusatzmesspunkt Matrixmethode (grün); Anregerstelle Impulshammer (rot)

Die Eingangsinertanzmethode „überschätzt“ den Körperschallübertragungsweganteil. Dass die Matrixmethode etwas niedrigere Werte als das gemessene Innengeräusch ermittelt, ist realistisch, da nur Körperschallpfade und nur ein Drehgestell betrachtet wurden (Bild 4):

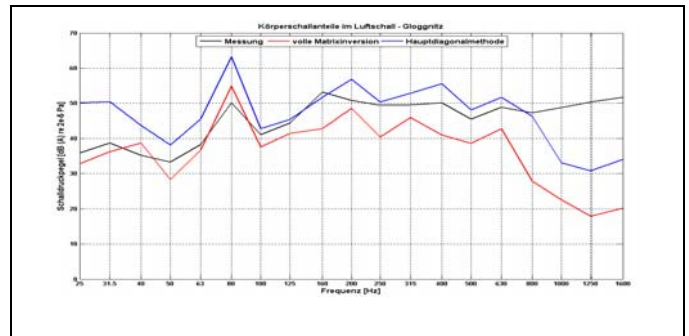


Bild 4: Vergleich des gemessenen Gesamtgeräusches mit den mittels Inertanzmethode oder Matrixmethode ermittelte Körperschallübertragungsweganteile

Aufgeteilt auf die einzelnen Übertragungspfade ergibt sich bei Konstantfahrt mit 140 km/h auf einem Teilstück der Strecke Graz-Wien folgende Geräuschaufteilung:

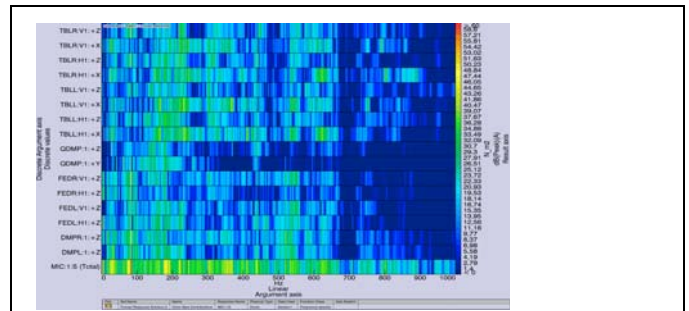


Bild 5: Vergleich der Einzelübertragungspfade

Zusammenfassung

Die im Bereich der PKW schon lange eingesetzte Transferpfadanalyse kann auch gut im Bereich der Schienenfahrzeuge eingesetzt werden. Die Matrixmethode liefert plausible Ergebnisse. Für eine genaue Bewertung der Aussage müsste der Einfluss von Modifikationen zwischen Messung und Analyse verglichen werden.