

Körperschallspezifische Berechnungen im vibro-akustischen Design-/Änderungs-Prozess von Schienenfahrzeugen

Karl-Richard Fehse¹, Torsten Kohrs¹

¹ Bombardier, Specialist Engineering, Mainline & Metros, 16761 Hennigsdorf, Deutschland

Email: Karl-Richard.Fehse@de.Transport.Bombardier.com, Torsten.Kohrs@de.Transport.Bombardier.com

Einleitung

Eine körperschallspezifische Aufgabenstellung im strukturierten akustischen Designprozess kann beispielhaft wie folgt beschrieben werden: Eine gegebene Körperschall(Kraft)quelle mit einer konstanten Anregungskraft von 1 Newton (0-5 kHz) soll auf einer völlig freien Empfangsstruktur (s. Abbildung 1) so positioniert werden, dass die induzierte Körperschalleistung und die abgestrahlte Luftschalleistung minimal werden. Um zu zeigen, dass dieser Auswahlprozess nicht trivial ist, sollte der Leser versuchen, die vorgegebenen Anregungskonfigurationen hinsichtlich der abgestrahlten Luftschalleistung (Gesamtpegel) zu sortieren (1 geringste u. 6 höchste Abstrahlung), zu quantifizieren (Tabelle 1) oder zumindest die höchste zu erwartende Pegeldifferenz anzugeben.

Tabelle 1: (Zeile 1) Rangfolge der abgestrahlten Luftschalleistung (1 geringste Abstrahlung; 6 höchste Abstrahlung) und (Zeile 2) \pm dB über/unter MP05 (d.h. wie viele dB liegt die abgestrahlte Schalleistung mit dem Anregungspunkt MPXX über/unter dem Absolutwert mit Anregungspunkt MP05)

Wert /Anregung	MP02	MP03	MP04	MP05	MP10	MP11
Rangfolge						
\pmdB(re.MP5)				0 dB		

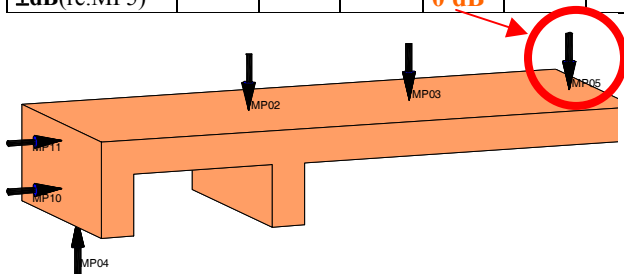


Abbildung 1: Frei aufgehängte Struktur mit 6 Anregungspositionen für eine Körperschall(Kraft)quelle mit einer konstanten Anregungskraft von 1 Newton (0-5 kHz)

Im folgenden wird zunächst eine systematische Vorgehensweise für diese einfache Teststruktur demonstriert und dann eine konkrete Anwendung am Schienenfahrzeug diskutiert.

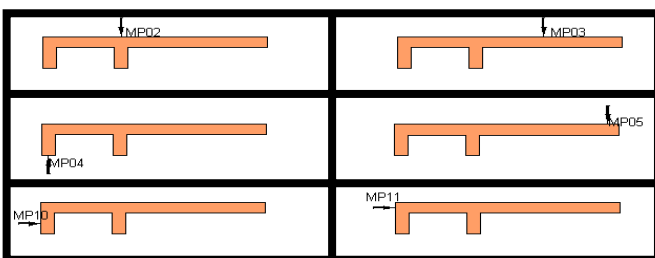


Abbildung 2: Struktur (Länge: 1 m; Breite 0.4 m; Höhe: 0.17 m; Dicke: 0.06 m; Anregung in Plattenmitte). Material: Stahl, $E=2.1e11N/m^2$, $\mu=0.31$ (Poissonsche Zahl), $\eta=0.01$ (Verlustfaktor)

Eingangsmobilität und abgestrahlte Schalleistung einer einfachen Struktur

In Abbildung 3 sind für vier der möglichen Anregungskonfigurationen (s. Abbildung 2) die gemessenen (Messung von K.P. Schmidt [2]) und FE-berechneten (MSC NASTRAN) Eingangsmobilitäten dargestellt. Die Eingangsmobilität \underline{Y} ist wie folgt definiert [1]:

$$\underline{Y} = \frac{\hat{v}}{\hat{F}} = \frac{1}{\underline{Z}} \quad (1)$$

\underline{Y} mechanische Mobilität; \hat{v} Scheitelwertzeiger der erzeugten/generierten Punktschnelle; \hat{F} Scheitelwertzeiger der anregenden Punktkraft; \underline{Z} mechanische Impedanz.

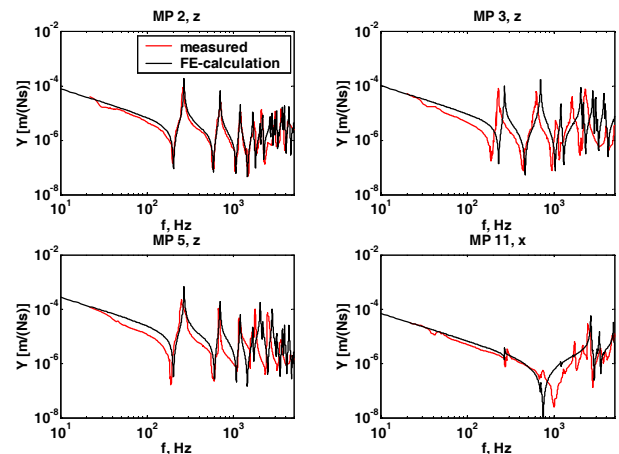


Abbildung 3: Berechnete u. gemessene Eingangsmobilitäten für die Anregungspunkte MP 2, MP 3, MP 5 und MP 11

Die abgestrahlte Luftschalleistung (rot), der Betrag der induzierten Körperschalleistung (schwarz), der aktive Anteil der induzierten Körperschalleistung (grün) und die örtlich gemittelte quadratische normale Oberflächenschnelle (blau) sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Luftschalleistung entspricht der aktiven Oberflächenschalleistung einer Sysnoise-Berechnung. Die KS-Größen entstammen den Ergebnissen, die mit der FE-Rechnung ermittelt wurden. Verglichen werden sollte insbesondere der spektrale Verlauf der induzierten Körperschalleistung (Betrag & aktiver Anteil) mit der abgestrahlten Luftschalleistung, da sie die Bedeutung des aktiven Anteils hervorhebt.

Der Vergleich der Anregungspunkte verdeutlicht, dass durch die richtige Wahl des Anregungspunktes und der Anregungsrichtung eine deutliche Reduzierung des KS-Eintrags und damit verbunden auch des abgestrahlten Luftschalls erzielt werden kann (14 dB Differenz in der abgestrahlten Schalleistung für die 6 vorgegebenen Anregungskonfigurationen!). Die Ergebnisse für den Luftschall sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

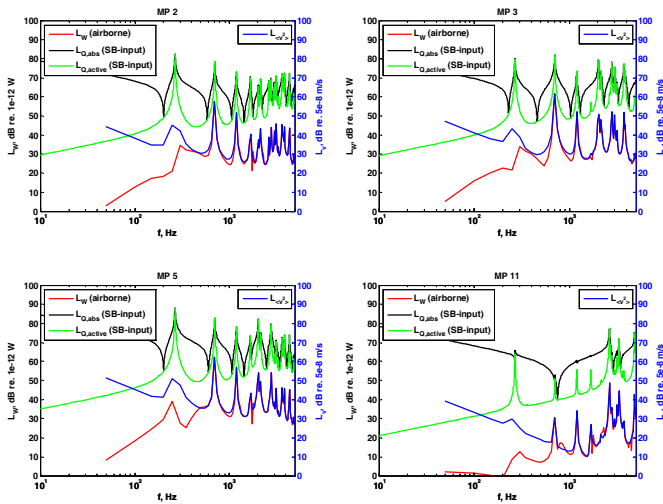


Abbildung 4: Berechnete abgestrahlte Luftschalleistung (rot), der Betrag der induzierten Körperschalleistung (schwarz), der aktive Anteil der induzierten Körperschalleistung (grün) und die örtlich gemittelte normale quadratische Oberflächenschnelle (blau), MP 2, MP3, MP5 und MP11

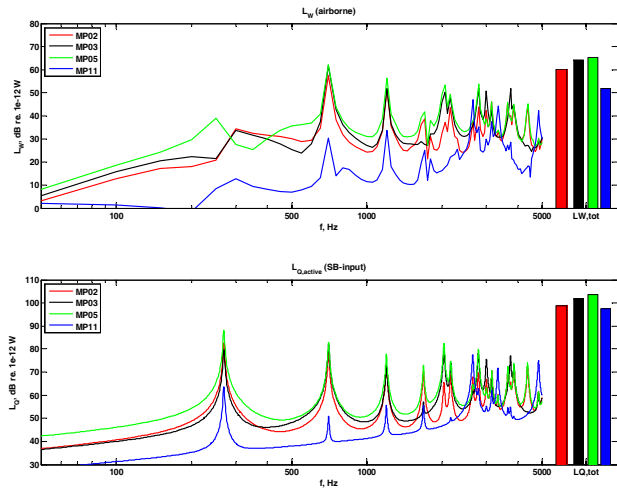


Abbildung 5: Berechnete abgestrahlte Luftschalleistung (oben), aktiver Anteil der induzierten Körperschalleistung (unten), jeweils mit Gesamtpegel

Tabelle 2: (Zeile 1) Rangfolge der abgestrahlten Luftschalleistung und (Zeile 2) \pm dB über/unter dem Gesamtschalleistungspegel mit der Kräfteinleitung bei MP05 (d.h. wie viele dB liegt die abgestrahlte Schalleistung des Anregungspunktes MPXX über/unter der Absolutwert mit MP05), $f=0-5000$ Hz

Wert /Anregung	MP02	MP03	MP04	MP05	MP10	MP11
Rangfolge	3	4	2	5	6	1
\pm dB(re.MP5)	-5	-1	-6	0	+1	-13

Das Beispiel der einfachen Struktur bestätigt nicht nur die enorme Bedeutung der Eingangsmobilität in den verschiedenen Designphasen, sondern ebenso die mögliche schalltechnische Wirksamkeit (und relativ kostengünstige Designänderung) am fertigen Produkt bzw. in einer „Troubleshooting“-Phase. Eingangsmobilitäten und die zum Realteil der Eingangsmobilität proportionale aktive Körperschalleistung sollten als wichtiges Werkzeug für die Entwicklung akustischer Konzeptgedanken in einer systematischen Vorgehensweise betrachtet werden.

Eingangsmobilität der Diesel-Motorlagerung eines Schienenfahrzeuges

Aufgabenstellung: Abschätzung der notwendigen Maßnahmen zur Reduzierung der Eingangsmobilität bei 100 Hz um 10 bzw. 20 dB. Ausgangspunkt für die Abschätzung der notwendigen Massen- bzw. Steifigkeitsänderung in Abbildung 6 ist die Annahme einer reellen Eingangsmobilität (*Charakter einer unendlichen Platte*).

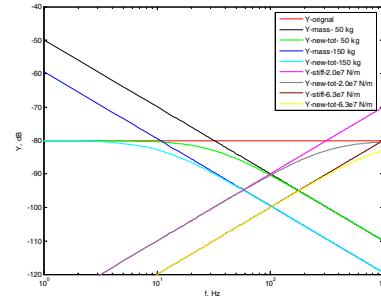


Abbildung 6: Abschätzung der notwendigen Massen- bzw. Steifigkeitsänderung für eine Verringerung der Eingangsmobilität bei 100 Hz um 10 bzw. 20 dB

In Abbildung 7 ist die gemessene Eingangsmobilität und die zu erwartende Veränderung durch eine Zusatzmasse bzw. eine Versteifung dargestellt. Die Zielstellung von 10 dB wird erfüllt, im hohen Frequenzbereich werden jedoch die Mobilitäten durch die Versteifung über die ursprünglichen Werte angehoben.

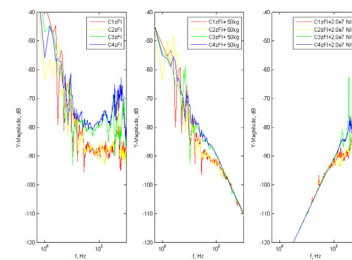


Abbildung 7: Gemessene Eingangsmobilität und berechneter Einfluss von Zusatzmasse und -steifigkeit für Dieselmotor-Aufhängungspunkte

Schlußfolgerung

Systematisches Körperschall-Design basiert auf einer Vielzahl von möglichen akustischen Konzeptgedanken, um die schalltechnische Reduktion der induzierten Körperschalleistung und abgestrahlten Luftschalleistung methodisch zu erfassen (1. Konstruktionsregeln; 2. Quelle: blockierte Kräfte/freie Schnellen und Y_{Quelle} , Pfad, Empfänger; 3. Konzept-Mobilitäten: Masse, Feder, Balken, Platte; 4. Dämmung: Schnelle / Kraft; 5. Isolation). Eingangsmobilitäten sind essentiell für eine systematische Vorgehensweise; es ist jedoch unbedingt zu beachten, dass in der Realität ebenso wie bei den Berechnungen die Interaktion zwischen Quelle und Empfangssystem, der Körperschallausbreitungsweg und letztendlich die Abstrahlung wesentlicher Bestandteil des Gesamtergebnisses sind.

Literatur

[1] L. Cremer, M. Heckl, B.A.T. Petersson: Structure-borne sound, 3rd edition, Springer, Berlin, 2005
 [2] K.P. Schmidt: Lärmarm konstruieren (III), Änderung der Eingangsimpedanz als Maßnahme zur Lärminderung, Wirtschaftsverlag NW, Dortmund 1979