

# Körperschallquellen-Charakterisierung, Positionierung & Interaktion mit Empfangsstrukturen

Karl-Richard Fehse<sup>1</sup>, Torsten Kohrs<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bombardier, Specialist Engineering, Mainline & Metros, 16761 Hennigsdorf, Deutschland

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

## Einleitung

In [1] wurde die Positionierung einer *idealen* Kraftquelle (konstante Anregungskraft von 1 Newton für 0-5 kHz) an Hand von Eingangsmobilitäten auf einer einfachen Empfangsstruktur ‚F‘ aus Stahl (s. Abbildung 5) zur Verringerung der induzierten Körperschalleistung und der abgestrahlten Luftschalleistung diskutiert. Um zu zeigen, dass dieser Auswahlprozess nicht trivial ist, wurde der Leser in [1] angehalten, die in vorgegebenen Anregungskonfigurationen hinsichtlich der abgestrahlten Luftschalleistung (Gesamtpegel) zu bewerten. Es wurde weiterhin schon darauf hingewiesen, dass -in der Realität ebenso wie bei Berechnungen- die tatsächliche *Aktivität* und der *dynamische Quellcharakter* einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben, im Gegensatz zur *idealen* Kraftquelle, bei der quell-spezifische Eigenschaften quasi unberücksichtigt bleiben ( $Y_{Source} = \infty$  m/s/N). Deshalb wird hier die Frage gestellt, ob Quelleigenschaften für die Positionierung, die induzierte Körperschalleistung und die abgestrahlte Luftschalleistung eine quantifizierbare Bedeutung haben. Die Untersuchungen beschränken sich auf den Fall des Einpunkt-Kontaktes mit nur einer translatorischen Bewegungsrichtung.

## Körperschallquellen-Charakterisierung

Eine vollständige **Quellen**beschreibung beispielsweise eines Dieselmotors (d.h. unabhängig von gewählten Empfangsstrukturen) bedarf zweier Größen, der Quellenaktivität (freie Schnelle  $v_{free}$  oder blockierte Kraft  $F_{blocked}$ ) und der Quelldynamik (Mobilität  $Y_{Source}$ ). Diese beiden Eigenschaften werden im Source-Descriptor  $S$  zu einer Variablen zusammengefasst [2], die den Quellenvergleich erleichtert:  $S = \frac{|v_{free}|^2}{Y_s}$ . Die **Empfänger**dynamik (z.B. des

Wagenkastens) wird durch die Mobilität  $Y_{Receiver}$  erfasst. Die ‚Kopplung‘ (das Zusammenwirken, respektive die Interaktion) von Quelle & Empfänger wird durch die Coupling function  $C_f$  beschrieben:  $C_f = e^{i\Delta\phi} \left( \alpha + 2\cos\Delta\phi + \frac{1}{\alpha} \right)$

Sie setzt sich aus dem Verhältnis der Mobilitätsbeträge  $\alpha = \frac{|Y_R|}{|Y_S|}$  und der Phasendifferenz  $\Delta\phi = \angle Y_R - \angle Y_S$

zusammen und beschreibt neben der Wechselwirkung auch die dynamische Ähnlichkeit beider Systeme. Die „Coupling Function“  $C_f$  zeigt direkt (siehe Abbildung 1), dass die Aussage: „Auf die Trennung von Imaginär- und Realteil der Impedanz, d.h. auf die messtechnisch sehr aufwendige Phasenmessung, kann in der Konstruktionsakustik ebenfalls verzichtet werden.“[3], nur für sehr große Mobilitätsunterschiede zwischen Quelle und Empfänger ( $\alpha \gg 1$  und  $\alpha \ll 1$ ) Gültigkeit hat.  $C_f$  verweist zudem auf die

Unabhängigkeit der Körperschalleistung  $Q$  idealer Quellen (Kraft- und Schnellequelle) von der Quelldynamik hin.

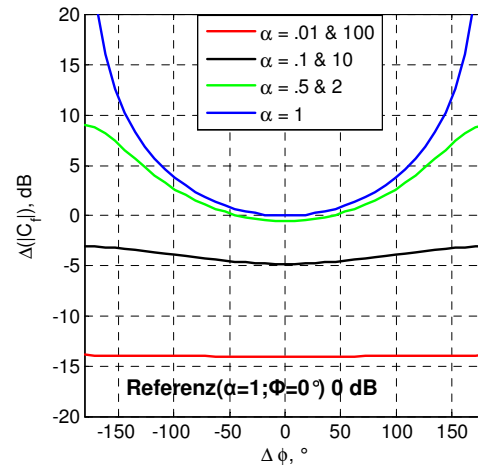


Abbildung 1: Betragsänderung der „Coupling Function“ (in dB) für unterschiedliche  $\alpha$  in Abhängigkeit der Phasendifferenz

Die eigentliche Quantifizierung des induzierten Körperschalls erfolgt durch die komplexe Schalleistung  $Q = S \cdot C_f$  bzw. durch die aktive Leistung  $W = \text{Re}(Q) = \text{Re}(S \cdot C_f)$ , die sich aus einem Quellterm  $S$  und dem Wechselwirkungsanteil  $C_f$  zusammensetzt.

## Körperschall-Quellen

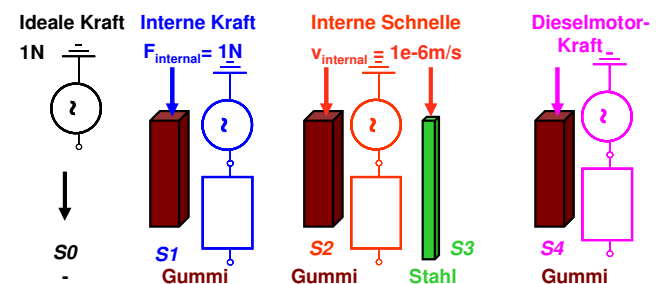


Abbildung 2: Untersuchte Quellen S0-S4

Die rechnerische Generierung der Quellen erfolgt über eine Zusammensetzung von idealen internen Quellmechanismen (Kraft oder Schnelle) und Quell-Elastizitäten, aus denen sich die Quellgrößen freie Schnelle und Quellmobilität ergeben. In der Praxis erfolgt dagegen die Charakterisierung in der Regel über eine messtechnische Bestimmung von Aktivität und Quellmobilität, da kein detailliertes Verständnis der internen Quellmechanismen vorhanden ist. Die hier verwendeten idealisierten Quellen, die nur einen Kontaktpunkt und eine Bewegungsrichtung aufweisen, sind in Abbildung 2 dargestellt. In Abbildung 3 und Abbildung 4 sind die zugehörigen „Source Descriptors“ und die Quellmobilitäten dargestellt, die einen weiten Bereich möglicher idealisierter Quellen abdecken.

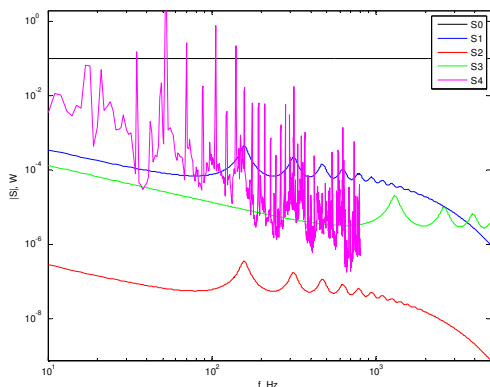


Abbildung 3: „Source descriptor“ der Quellen S0-S4

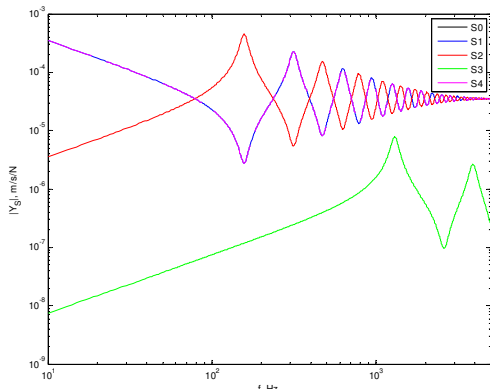


Abbildung 4: Betrag der Quellmobilitäten für S0-S4

### Quelle & Empfänger

Für MP10 und MP11 (die Positionen mit der höchsten und geringsten abgestrahlten Schalleistung) wird in Abbildung 5 für Quelle S1 die „Coupling function“ gezeigt: im vorliegenden Fall trennen sich die beiden Funktionen für weite Frequenzbereiche eindeutig. Für MP10 zeigt  $C_f$  eine viel höhere Ähnlichkeit & Interaktion an, die durch die Betragsmobilitäten und die Phase konkret bestätigt werden (hier nicht dargestellt).

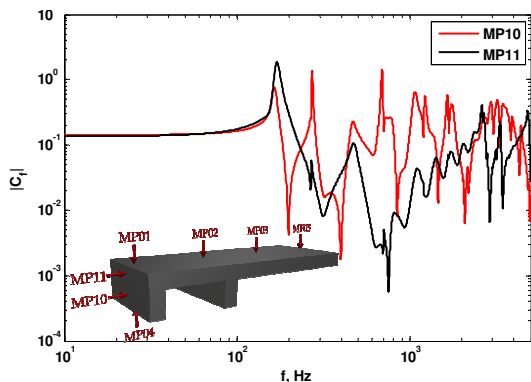


Abbildung 5: Betrag der „Coupling Function“ für MP10 und MP11 an der F-Struktur für Quelle S1

### Abgestrahlte Luftschalleistung

Die abgestrahlte Schalleistung der Quellen S0-S4 ist in Tabelle 1 -basierend auf der Referenz MP05- zusammengefasst: die wesentliche Rangfolge der Punkte (insbesondere die Extrema 1 und 7) haben sich nicht verändert, so dass man in dieser Hinsicht mit der ausschließlichen Berücksichtigung der reellen Eingangsmobilität zu dem gleichen Ergebnis gekommen wäre. Die berechneten Schalleistungswerte ändern sich allerdings signifikant (siehe Abbildung 6). Die

wesentlichsten Auswirkungen zeigen sich für die Quelle S4 (gemessene Dieselmotor-Kraft mit gummiartiger Quellen-Elastizität) am MP11.

**Tabelle 1: Rangfolge der abgestrahlten Luftschalleistung (1 geringste Abstrahlung, 6 höchste Abstrahlung, erste Zeile für jede Quelle) und (zweite Zeile) ± dB über/unter MP05 unter Berücksichtigung der Quelleigenschaften (S0-S4)** Die Tabellenwerte differieren auf Grund unterschiedlicher Rechnungen ( $\Delta f$ ) von denen in [1].

Quelle	Wert /Anregung	MP 01	MP 02	MP 03	MP 04	MP 05	MP 10	MP 11
S0	Rangfolge	2	4	5	3	6	7	1
	±dB(re.MP5)	-5	-5	-2	-5	0	2	-9
S1	Rangfolge	2	4	5	3	6	7	1
	±dB(re.MP5)	-4	-3	-2	-4	0	2	-12
S2	Rangfolge	2	4	5	3	6	7	1
	±dB(re.MP5)	-4	-3	-2	-4	0	2	-11
S3	Rangfolge	3	6	2	4	5	7	1
	±dB(re.MP5)	-3	0	-3	-2	0	0	-8
S4	Rangfolge	3	2	6	4	7	5	1
	±dB(re.MP5)	-3	-3	-2	-3	0	-2	-25

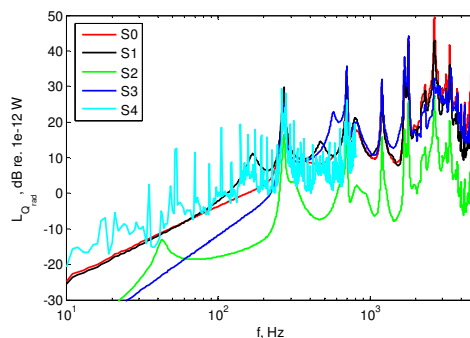


Abbildung 6: Spektren der abgestrahlten Luftschalleistung an MP11 für alle Quellen S0-S4

### Schlussfolgerung

Die hier verwendete Quellen haben zu keiner wesentlichen Veränderung der Positionsbewertung (Rangfolge) geführt, aber zu einer deutlichen Änderung der Luftschalleistung (d.h. beispielsweise, dass eine Vorhersage ohne Quellenberücksichtigung die richtige Tendenz, aber nicht die richtige Größenordnung ermöglicht). Die Ergebnisse zeigen, dass Quellenverständnis nicht nur für die Arbeit an der Quelle wichtig ist, sondern auch für Änderungen an der Empfangsstruktur! Entgegen konventionellen Vorstellungen kann die Phase für die induzierte Körperschall-Leistung bei Betragsmobilitäten gleicher Größenordnung ( $\alpha \approx 1$ ) sehr bedeutsam werden. Das Quell-Empfangsstruktur-Konzept bietet einen Weg für eine systematische Vorgehensweise in der Konstruktionsakustik an: Es bleibt zu prüfen, welche Möglichkeiten sich durch die hier beschriebene Körperschall-Charakterisierung (z.B.  $S$ ,  $C_f$ ) für eine Optimierung der Empfangsstruktur bieten.

### Literatur

[1] K.-R. Fehse, T. Kohrs: Körperschallspezifische Berechnungen im vibroakustischen Design-/Änderungs-Prozess von Schienenfahrzeugen, DAGA 2006, Braunschweig  
 [2] J.M. Mondot, B.A.T. Petersson: Characterization of SBS-Sources: The source descriptor and the coupling function, Journal of Sound and Vibration 114, S. 507-518  
 [3] K.P. Schmidt: Lärmarm konstruieren (III), Änderung der Eingangs-impedanz als Maßnahme zur Lärminderung, Wirtschaftsverlag NW, Dortmund 1979