

# Einsatz der OTPA im Rahmen der Innengeräuschentwicklung am Beispiel eines Elektrotriebzuges

Alex Sievi<sup>1</sup>, Martin Lohrmann<sup>2</sup>, Bert Stegemann<sup>3</sup> und Philipp Rüst<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg, E-Mail: alex.sievi@muellerbbm.de

<sup>2</sup> Müller-BBM VAS GmbH, 82152 Planegg, E-Mail: mlohrmann@muellerbbm-vas.de

<sup>3</sup> Bombardier Transportation, 16761 Hennigsdorf, E-Mail: bert.stegemann@de.transport.bombardier.com

<sup>4</sup> Bombardier Transportation, CH-8401 Winterthur, E-Mail: philipp.ruest@ch.transport.bombardier.com

## Einleitung

Im Rahmen der Fahrzeugentwicklung ist eine Quantifizierung der unterschiedlichen Geräuschbeiträge des Luft- und Körperschalls sowie der Beiträge der unterschiedlichen Koppelstellen von entscheidender Bedeutung. In der Entwicklungsphase werden diese Informationen benötigt, um die entscheidenden Maßnahmen zur Erreichung der akustischen Anforderungen im Fahrzeug zu entwickeln. Darüber hinaus können Einsparungspotentiale durch den Entfall von akustischen Maßnahmen aufgedeckt werden. Die Bilanzierung der Beiträge ist aber auch im Falle einer Zielwertabweichung wichtige Voraussetzung, um zielgerichtete akustische Lösungen entwickeln zu können.

Die operationelle Transferpfadanalyse ist eine Methode, die eine solche Beitragsanalyse ermöglicht. Gegenüber der klassischen Transferpfadanalyse werden die Übertragungsfunktionen direkt aus den Betriebsdaten ermittelt, so dass keine zusätzlichen Versuche erforderlich sind.

Dieser Beitrag führt kurz die Methode ein und zeigt die Anwendung an einem Beispiel aus dem Schienenfahrzeugbau.

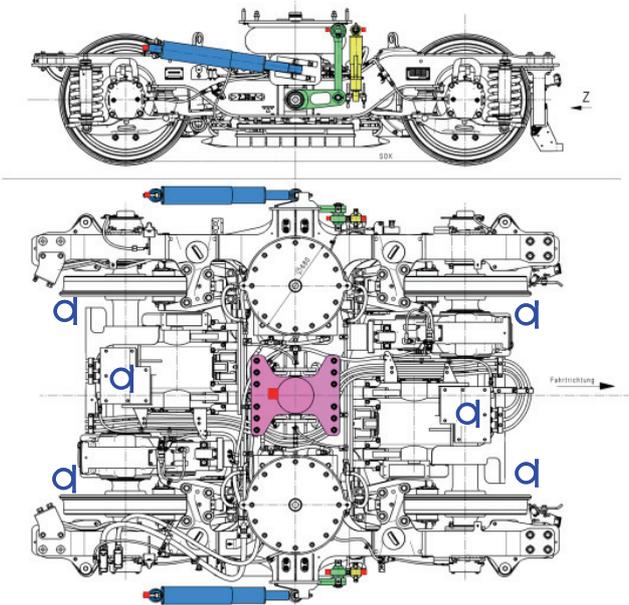


Abb. 1: Sensorik, rot: Beschleunigungsaufnehmer.

## Operationelle Transferpfad Analyse (OTPA)

Übertragungsfunktionen  $H$  beschreiben den linearen Zusammenhang zwischen dem Eingang  $X$  und dem Ausgang  $Y$ . Misst man im Betrieb die Quellsignale  $x_i$ , so kann mit Hilfe der Übertragungsfunktionen  $h_i$  der Anteil  $y_i$  einer Quelle  $i$  (bzw. eines Pfades) zum gesamten Antwortsignal  $Y$  bestimmt werden.

Zunächst ist das Übertragungsverhalten nicht bekannt. Misst man jedoch  $X$  und  $Y$  im Betrieb, so lässt sich  $H$  über lineare Regression bestimmen [2].  $H$  ist dann die Lösung des Gleichungssystems mit dem geringsten Fehler-Quadrat, d.h. die Lösung, welche alle Betriebsdaten in (1) bestmöglich beschreibt. Typischerweise werden daher möglichst viele, unterschiedliche Anregungszustände zur Bestimmung der Übertragung verwendet, Linearität vorausgesetzt.

$$Y = \sum_i y_i = \sum_i x_i \cdot h_i \quad (1)$$

In [1] wurde gezeigt, wie im Automobilbereich mit dieser Methode Beiträge zum Innengeräusch analysiert werden. Eine Untersuchung zur Trennbarkeit korrelierter Quellsignale wurde in [3] durchgeführt. [4] gibt einen Ausblick auf mögliche Anwendungen im Nicht-Automobilbereich.

## Anwendungsbeispiel

Die beschriebene OTPA wurde an einem vierteiligen elektrischen Regionaltriebzug ( $v_{\max} = 160 \text{ km/h}$ ) [5] mit zwei angetriebenen Enddrehgestellen, einem angetriebenen und zwei nicht angetriebenen Jakobsdrehgestellen [6] durchgeführt. Es wurde die Geräuschübertragung in den Führerstand und den Fahrgastraum oberhalb des Endtrieb-drehgestells untersucht.

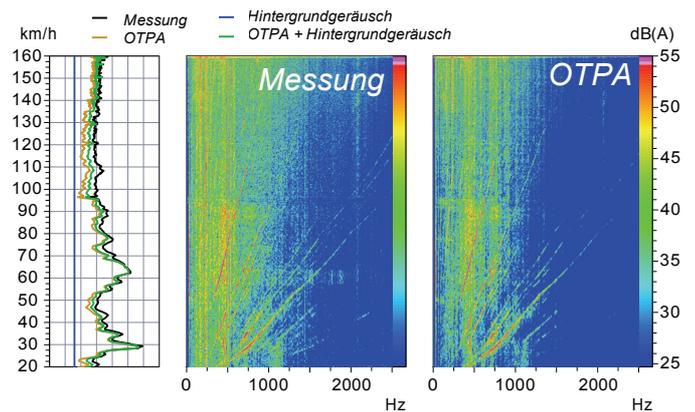


Abb. 2: Gemessener und mit Hilfe der OTPA ermittelter Schalldruckpegel im Fahrgastraum.

## Messaufbau und Messfahrten

Ziel der Untersuchung war die Quantifizierung der Geräuschbeiträge aus den Koppelstellen zwischen Drehgestell und Wagenkasten sowie der Luftschallbeiträge der Geräuschquellen im Unterflurbereich. Die Lage der Referenzsensoren spielt für die Beitragstrennung eine wichtige Rolle. Die Anbindungspunkte

des Vertikaldämpfers und der Wankstütze an den Wagenkasten sind bei diesem Drehgestell nur ca. 150 mm von einander entfernt. Gleiches gilt für die Anbindungspunkte am Drehgestell. Insbesondere für den unteren Frequenzbereich ist bei derart nahen Koppelstellen keine eindeutige Beitragstrennung möglich. Um trotzdem eine möglichst gute Trennung der Beiträge zu erzielen, wurden die Beschleunigungssensoren (7 Stück) auf den Koppelgliedern selbst appliziert (Abb. 1).

Für die Erfassung der Beiträge der Unterflurschallquellen wurden 4 Mikrofone in der Nähe der Räder und 2 Mikrofone in der Nähe der Motor-Getriebe-Einheiten appliziert.

Als Antwortgröße wurde der Schalldruck im Fahrgastraum und im Führerstand oberhalb des ersten Antriehdrehgestells gewählt.

Die Übertragungsfunktionen wurden aus zwei Beschleunigungsfahrten bis zu der Geschwindigkeit von ca. 100 km/h berechnet. Nach (1) wurden die Beiträge zum Gesamtgeräusch bestimmt sowie die Summe der Einzelbeiträge.

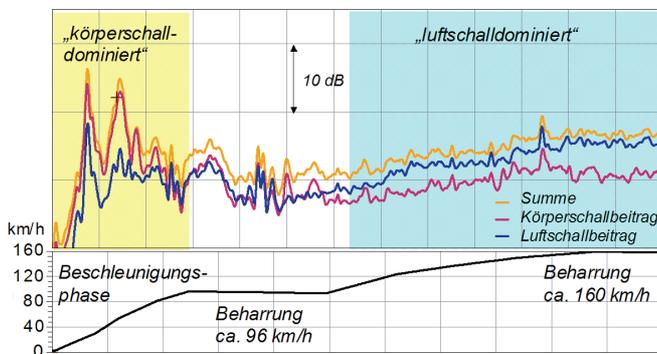


Abb. 3: Beiträge des Körper- und Luftschalls zum Schalldruckpegel im Fahrgastraum über der Zeit.

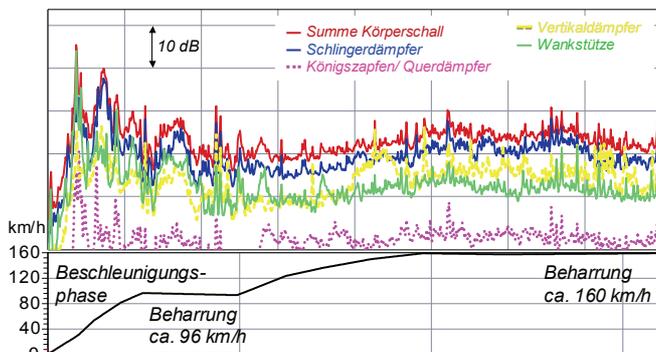


Abb. 4: Beiträge der einzelnen Koppelstellen über der Zeit.

## Ergebnisse für den Fahrgastraum

In Abb. 2 ist der gemessene und mit Hilfe der OTPA ermittelte Schalldruckpegel als Campbell-Diagramm und als Gesamtpegel dargestellt. Aufgrund des Hintergrundgeräusches eines Lüfters, der sich auf dem Fahrzeugdach befand und der nicht als Quelle miterfasst wurde, wird der Schalldruckpegel im Fahrgastraum bei den „leisen“ Fahrsituationen mit einer maximalen Abweichung von 4 dB nachgebildet. Addiert man diesen Geräuschbeitrag nachträglich zum Schalldruckpegel, so sinkt die Abweichung auf max. 2 dB. Im Führerstand ist die Abweichung zwischen dem gemessenen und dem synthetisierten Schalldruckpegel insbesondere für die höheren

Geschwindigkeiten etwas größer. Die Ursache hierfür sind wahrscheinlich die fehlenden Geräuschanteile aus der Umströmung des Fahrzeugkopfes und von Kühlerlüftern.

Anhand dieser Beispiele konnte gezeigt werden, dass Quellanteile, die nicht in den Referenzsensoren beinhaltet sind, bei der Analyse unberücksichtigt bleiben.

Bei Beschleunigung des Fahrzeugs bis ca. 80 km/h dominiert der Körperschall den Schalldruckpegel im Innenraum (Abb. 3). Dies ist aufgrund der hohen Antriebskräfte und der Verspannung der Antriebe im Drehgestell plausibel. Bei Übergang in die Beharrungsfahrt und für höhere Geschwindigkeiten dominiert der Anteil aus dem Unterflurschall das Innengeräusch.

In Abb. 4 sind die Beiträge des Körperschalls über die verschiedenen Koppelstellen dargestellt. Der Schalldruckpegel im Fahrgastraum wird in vielen Fahrsituationen durch den Schlingerdämpfer dominiert.

## Zusammenfassung

Mit Hilfe der OTPA wurde eine detaillierte Beitragsanalyse des Fahrzeuginnengeräuschs durchgeführt. Die Ergebnisse sind plausibel und entsprechen den praktischen Erfahrungen mit dem Fahrzeug. Aufgrund der Analyse wurde bestätigt, dass der Schalldruckpegel im Führerstand durch den Luftschall aus dem Unterflurbereich dominiert wird.

Die Detailtiefe der Analyseergebnisse verdeutlicht die Komplexität der Körperschallübertragung. Die OTPA kann dabei helfen das akustische Körperschall-Übertragungsverhalten von Fahrwerken bei unterschiedlichen Fahrsituationen vertiefter zu verstehen.

## Literatur

- [1] Klerk, D. de; Lohrmann, M.; Quickert, M.; Foken, W.: Application of Operational Transfer Path Analysis on a Classical Car. In: NAG/DAGA 2009, International Conference on Acoustics, Rotterdam, DEGA, 2009
- [2] Noumura K.; Yoshida, J.: Method of Transfer Path Analysis for Vehicle Interior Sound with no Excitation Experiment. In: FISTA 2006 World Automotive Congress, JSAE, 2006
- [3] Sievi, A.; Martner, O.; Lutzenberger, S.: Noise reduction at trains by the Operational Transfer Path Analysis – Demonstration of the method and evaluation by case study. In: IWRN10, Japan, 2010
- [4] Plunt, J.: Operating Transfer Path Analysis (OTPA). Can this novel technology be applied successfully outside the automotive sector? In: Baltic-Nordic Acoustical Meeting, Bergen, Mai 2010.
- [5] Segieth, C.: Talent 2 – Die neue Fahrzeugfamilie für den Regional- und S-Bahnverkehr. In: Eisenbahn-Ingenieur, 09/2008.
- [6] Jakob, J.; Mannsbarth, H.: Flex-Compact-Drehgestelle – Wirtschaftlichkeit und Flexibilität durch Modularität. In: Eisenbahn-Revue International, 12/2007.