

# Beitragsanalyse des Fahrzeugaußengeräuschs bei der simulierten Vorbeifahrt unter Verwendung von Betriebsmessungen

Jakob Putner<sup>1</sup>, Martin Lohrmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AG Technische Akustik, MMK, TU München, 80333 München, Deutschland, E-Mail: putner@tum.de

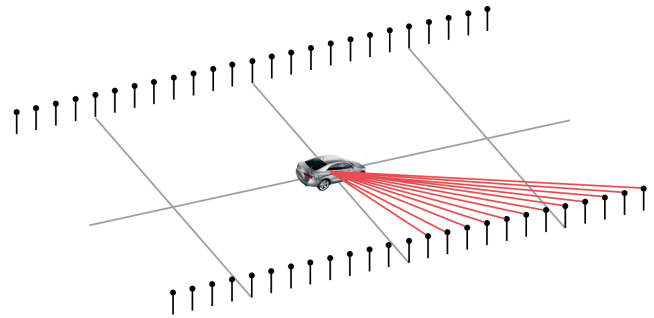
<sup>2</sup> Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH, 82152 Planegg, Deutschland, E-Mail: MLoehrmann@MuellerBBM-vas.de

## Einleitung

Immer komplexere Anforderungen an das Außengeräusch von Fahrzeugen zum Beispiel durch niedrigere gesetzliche Vorgaben erfordern eine detailliertere Analyse der beteiligten Schallquellen. Die Messmethode *simulierte Vorbeifahrt* hat sich zur realitätsgetreuen Schallpegelmessung von Fahrzeugaußengeräuschen etabliert. Es wird eine Methode zur Analyse dominanter Beiträge zum Fahrzeugaußengeräusch vorgestellt. Die für die Analyse erforderlichen Übertragungsfunktionen zwischen den Geräuschquellen und den Vorbeifahrtmikrofonen werden bei der vorgestellten Methode durch Operational Transfer Path Analysis (OTPA) aus Daten von Betriebsmessungen ermittelt. Durch Transferpfadsynthese (TPS) werden aus Quellsignalen von simulierten Vorbeifahrtmessungen die Signale der Vorbeifahrtmikrofone synthetisiert. Das Ergebnis der Beitragsanalyse sind Schalldruckpegel einzelner Quellen als Funktion der Position auf der Vorbeifahrtsstrecke (Vorbeifahrtpegel). Mit diesen Informationen kann die Gestaltung des Fahrzeugaußengeräuschs fortgeführt werden.

## Methode

Für die Überprüfung der Geräuschemission eines fahrenden Fahrzeugs ist ein normiertes Verfahren nach ISO 362 [1] vom Gesetzgeber vorgeschrieben. Um im Entwicklungsprozess nicht von den Unwägbarkeiten einer realen Vorbeifahrtstrecke abhängig zu sein, wurde die simulierte Vorbeifahrt als Verfahren integriert. Durch die simulierte Vorbeifahrt kann beispielweise der Einfluß des Wetters ausgeschlossen und so eine bessere Reproduzierbarkeit der Messungen erreicht werden. Bei einer simulierten Vorbeifahrtmessung ist das Fahrzeug auf einem Akustikrollenprüfstand in einem Halbfreifeldraum fixiert. Auf beiden Seiten des Fahrzeugs sind die Vorbeifahrtmikrofone, entsprechend der Aufstellung nach ISO 362 [1], also in einem Abstand von 7.5 m zur Mittellinie der gedachten Vorbeifahrtstrecke aufgestellt. Die Position gegenüberliegender Vorbeifahrtmikrofone entlang der gedachten Vorbeifahrtstrecke entspricht einer Fahrzeugposition auf der realen Vorbeifahrtstrecke. Durch Interpolation der Schalldruckpegel eines Vorbeifahrtmikrofons und seines jeweiligen Vorgängers entlang der gedachten Vorbeifahrtstrecke erhält man den Vorbeifahrtpegel entsprechend einer Messung im Freien. Einen Prüfstand für simulierte Vorbeifahrt, auf dem auch die im folgenden diskutierten Messungen durchgeführt wurden, haben Teller und Brandstätter [4] vorgestellt.



**Abbildung 1:** Aufstellung der Vorbeifahrtmikrofone für simulierte Vorbeifahrtmessungen.

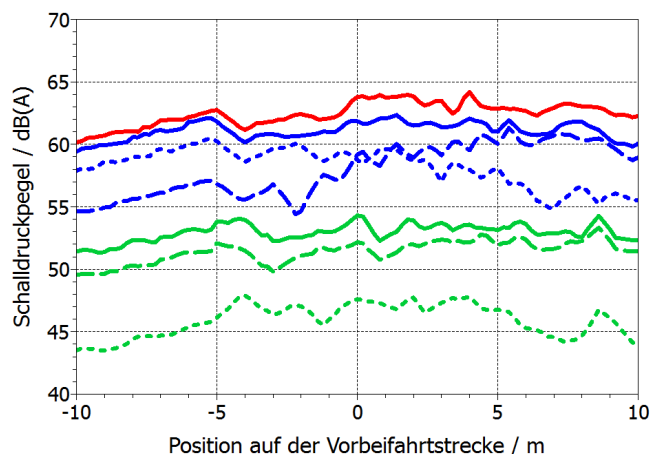
Zur Ermittlung der Beiträge von Motor, Ansaugmündung, Schalldämpfermündung und Reifen zum Gesamtvorbeifahrtpegel wird zunächst das Übertragungsverhalten zwischen Referenz- und Antwortpositionen bestimmt. Die Quellen am Fahrzeug werden durch Sensoren an den Referenzpositionen erfasst, die Empfänger, also die Vorbeifahrtmikrofone, entsprechen den Antwortpositionen. Bei der Ermittlung des Übertragungsverhalten kommt eine von Noumura und Yoshida [3] beschriebene Methode zum Einsatz, die auf der Analyse von Betriebsmessungen basiert. Diese Methode wurde zum Beispiel von de Klerk et al. [2] zur Analyse kritischer Körperschallpfade und von Beiträgen verschiedener Quellen zum Fahrzeuginnengeräusch angewendet. Zur Ermittlung des Übertragungsverhaltens  $H$  werden die Signale der Referenzpositionen  $X$  und der Antwortpositionen  $Y$  simultan erfasst, während das Fahrzeug auf dem Rollenprüfstand fährt. Typischerweise absolviert das Fahrzeug hierbei mehrere Hoch-Runterläufe.

$$Y = XH \quad (1)$$

Zur Analyse einer simulierten Vorbeifahrtmessung werden aus den gemessenen Quellsignalen und dem ermittelten Übertragungsverhalten die einzelnen Anteile an jedem Vorbeifahrtmikrofon bestimmt. Man erhält die berechneten Signale an den Antwortpositionen  $Y$ , in dem man im Betrieb gemessene Signale der Referenzpositionen  $X$  entsprechend Gleichung (1) mit dem Übertragungsverhalten  $H$  verrechnet. Die so berechneten Einzelbeiträge können für jede Antwortposition zu einem gemeinsamen Beitrag zusammengefasst werden. Durch Analyse der berechneten Signale der Antwortpositionen, die den Signalen der Vorbeifahrtmikrofone entsprechen, wird der Vorbeifahrtpegel dieses Beitrags ermittelt.

## Ergebnisse

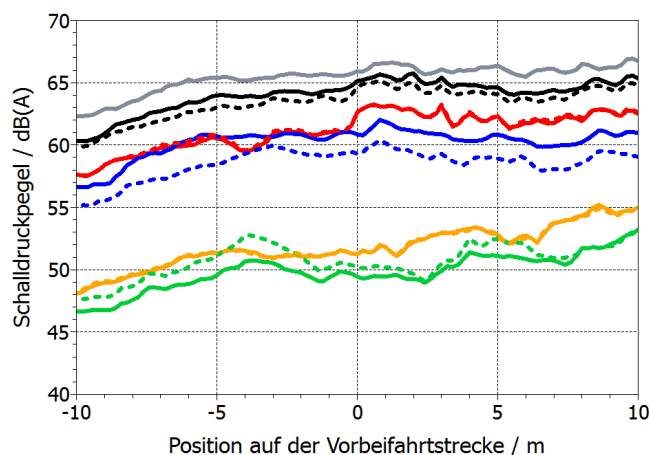
Durch den Prüfstand für die simulierte Vorbeifahrtsmessung sind die meisten Rahmenparameter, wie die Antwortpositionen bereits vorgegeben. Eine Fragestellung bei der praktischen Umsetzung einer solchen Messung ist die geeignete Positionierung der Sensoren zur Erfassung der Quellen, also die Bestimmung der Referenzpositionen.



**Abbildung 2:** Fernfeldbeiträge bestimmter Nahfeldmikrofonpositionen zum Gesamtbeitrag des Rades. rot: Gesamtbeitrag des Rades (alle vier Mikrofonpositionen), blau: Beiträge der unteren Mikrofone, grün: Beiträge der oberen Mikrofone, gepunktet: Beitrag des vorderen Mikrofons, gestrichelt: Beitrag des hinteren Mikrofons.

Im Nahfeld eines Rades wurden vier Mikrofone an ausgewählten Referenzpositionen platziert. Zwei Mikrofone wurden vor und hinter der Lauffläche des Reifens positioniert, die anderen beiden Mikrofone im oberen Bereich, auf die Seitenwand des Reifens gerichtet. Das Rollgeräusch wurde bei einer Konstantfahrt mit 50 km/h näher untersucht. Aus den Beiträgen zum Vorbeifahrtpegel, die in Abbildung 2 dargestellt sind, wird deutlich, daß der Gesamtbeitrag des Rades durch die Beiträge der unteren beiden Referenzpositionen dominiert wird. Da die beiden oberen Referenzpositionen nur einen vernachlässigbar geringen Anteil zum Gesamtbeitrag des Rades leisten, müssen diese bei zukünftigen Messungen nicht mehr berücksichtigt werden. Betrachtet man die Beiträge der beiden unteren Referenzpositionen genauer, wird die gerichtete Abstrahlung der Kontaktstelle des Reifens mit der Fahrbahn deutlich. Bewegt sich der Reifen sozusagen auf die Mittellinie zu, dominiert der vordere Beitrag, bewegt er sich von der Mittellinie weg, der hintere.

In einer weiteren Untersuchung wird der Beitrag des Motorgeräusches einer beschleunigten Vorbeifahrt genauer untersucht. Um das direkt abgestrahlte Schallfeld zu erfassen wurden fünf Mikrofone im Motorraum beziehungsweise an dessen Öffnungen platziert. Drei zusätzliche Beschleunigungsaufnehmer am Motor-Getriebe-Block sollen eventuelle Körperschallübertragung auf andere abstrahlende Flächen berücksichtigen. In Abbildung 3 sind die Analysen mit und ohne Berücksichtigung der Be-



**Abbildung 3:** Beiträge zum Schalldruckpegel der Vorbeifahrt. grau: Gemessener Schalldruckpegel, schwarz: Summe aller Einzelbeiträge, rot: Beitrag der Räder, blau: Beitrag des Motors, grün: Beitrag der Ansaugmündung, orange: Beitrag der Schalldämpfermündung, durchgezogen: mit Körperschallsensoren, gestrichelt: ohne Körperschallsensoren.

schleunigungsaufnehmer gegenübergestellt. Mit diesen zusätzlichen Körperschallsensoren ergibt die Analyse einen höheren Beitrag des Motors, wobei alle anderen Beiträge größtenteils unverändert bleiben. Ebenfalls wird der gemessene Vorbeifahrtpegel besser durch die Summe der Einzelbeiträge angenähert.

Um die bereits erläuterten Beiträge der Räder und des Motors zu komplettieren, werden noch die Beiträge der Ansaugmündung und der Schalldämpfermündung berücksichtigt. Diese wurden durch jeweils ein Mikrofon erfasst. Wie in Abbildung 3 deutlich wird, kann durch die Aufsummierung dieser vier Anteile zu einem Gesamtergebnis der gemessene Vorbeifahrtpegel gut angenähert werden.

## Danksagung

Diese Arbeit wurde von der Bayerischen Forschungsstiftung im Verbund FORLärm, Projekt B1 gefördert.

## Literatur

- [1] ISO 362-1: *Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles — Engineering method — Part 1: M and N categories*. ISO, 2007
- [2] Klerk D. de, M. Lohrmann, M. Quickert, W. Foken: *Application of Operational Transfer Path Analysis on a Classic Car*. In: *NAG/DAGA 2009*, 776-779 (Dt. Gesell. für Akustik e. V., Berlin, 2009)
- [3] Noumura K., J. Yoshida: *Method of Transfer Path Analysis for Vehicle Interior Sound with no Excitation Experiment*. In: *FISITA 2006 World Automotive Congress*, F2006D183 (2006)
- [4] Teller P., P. Brandstät: *Labor für Fahrzeugakustik und simulierte Vorbeifahrt*. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA '10*, 971-972 (Dt. Gesell. für Akustik e. V., Berlin, 2010)