

# Analyse von Körper- und Luftschallbeiträgen zum Fahrzeuggeräusch mittels Transferpfadanalyse aus Betriebsmessungen

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

<sup>1</sup> AG Technische Akustik MMK, TU München, Arcisstr. 21, 80333 München, E-Mail: putner@tum.de

<sup>2</sup> Müller-BBM VibroAkustik Systeme, Robert-Koch-Str. 13, 82152 Planegg

## Einleitung

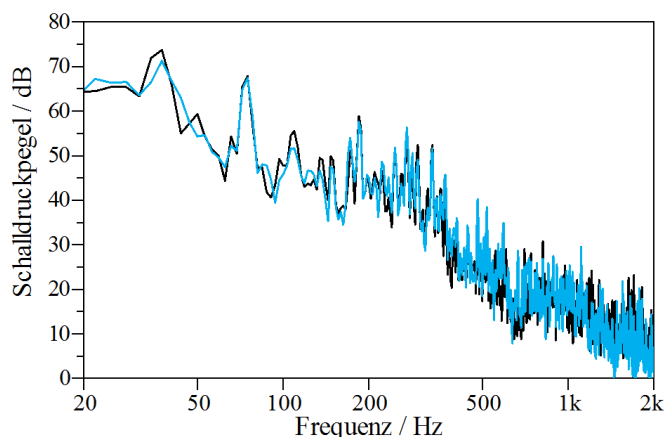
Die gezielte Entwicklung des Fahrzeuggesamtgeräuschs ist in der Praxis, aufgrund der Vielzahl an beitragenden Quellen, eine Herausforderung. Durch detailliertes Wissen um die Beiträge der einzelnen Quellen, können Änderungen am Fahrzeug beziehungsweise den beteiligten Schallquellen effizient ermittelt werden. Für die Analyse der Beiträge verschiedener Körper- und Luftschallquellen zum Gesamtgeräusch wurde eine Transferpfadanalyse aus Betriebsmessungen, auch Operationelle Transferpfadanalyse genannt, durchgeführt. Bei den erforderlichen Messungen werden alle Quell- und Antwortsignale zeitsynchron erfasst, während sich das Fahrzeug in typischen Betriebszuständen befindet. Dabei ist die Methode nicht auf eine einheitliche Messgröße der Signale beschränkt, wodurch auch die Beiträge von Körper- und Luftschallquellen getrennt werden können. Mittels Transferpfadsynthese werden diese Beiträge aus den durch die Transferpfadanalyse ermittelten Übertragungscharakteristika und den Quellsignalen der Betriebsmessungen ermittelt.

## Methode

Die Messungen zur Ermittlung der Beiträge zum Fahrzeuginnengeräusch, werden in typischen Betriebszuständen mit einem, abgesehen von der Sensorik, nicht modifiziertem Fahrzeug durchgeführt. Die Methode kann auch für das Fahrzeugaußengeräusch eingesetzt werden [4]. Die Referenzsensoren zur Charakterisierung der Quellen am Fahrzeug sind in der Regel Beschleunigungsaufnehmer und Mikrofone. Die Signale der Referenz- und Antwortpositionen werden in den Messungen der verschiedenen Betriebszustände synchron erfasst, und die für die Beitragsanalyse erforderlichen Transfercharakteristika mittels Hauptkomponentenanalyse ermittelt [1]. Die Positionierung der Referenzsensoren ist, wie die Auswahl der Betriebszustände, von entscheidender Bedeutung für die Qualität und Interpretierbarkeit der Analyseergebnisse [2]. Bei den hier vorgestellten Messungen wurden Beschleunigungsaufnehmer an 13 Referenzpositionen und Mikrofone an 18 Referenzpositionen zur Charakterisierung der Quellen verwendet. Mit dem Mikrophon an der Antwortposition im Fahrzeuginnenraum ergaben sich 45 synchron gemessene Kanäle, die mit 52 kHz Abtastrate und 24 bit Auflösung gemessen wurden. Zur Ermittlung der benötigten Transfercharakteristika, wurden Hoch- und Runterläufe des Fahrzeugs, sowie Fahrten bei konstanter Drehzahl, in verschiedenen Lastzuständen, gemessen. Die Messungen wurden auf einem akustischen Rollenprüfstand im Halbfreifeldraum durchgeführt.

## Ergebnisse

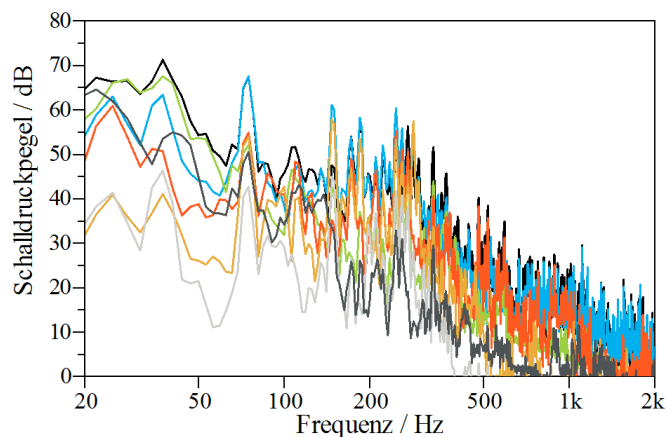
Für die Analyse des Fahrzeuginnengeräuschs wurden sechs dominante Schallquellen, Ansaugtrakt, Getriebe, Hinterachsträger, Motor, Räder und Schalldämpfermündung, identifiziert und analysiert. Für eine erste Überprüfung der Ergebnisse dient der Vergleich von gemessenem und synthetisiertem Gesamtgeräusch. In allen Abbildungen wurde für das Sechszylinder Dieselfahrzeug eine Konstantfahrt 1500 1/min gewählt. Das synthetisierte Fahrzeuginnengeräusch berechnet sich als Summe der Beiträge der dominanten Schallquellen. Wie in Abbildung 1 zu sehen, stimmen das gemessene und synthetisierte Gesamtgeräusch sehr gut überein, der Unterschied im Gesamtschalldruckpegel beträgt 1.3 dB. Auch beim Vergleich im Spektrum erkennt man die hohe Übereinstimmung zwischen gemessenem und synthetisiertem Fahrzeuginnengeräusch, zum Beispiel bei der wichtigen dritten Motorordnung bei 75 Hz. Weitere Untersuchungen zur Verifikation und Interpretation der Analyseergebnisse können auch bei [3] gefunden werden.



**Abbildung 1:** Gemessenes (schwarz) und synthetisiertes (blau) Fahrzeuginnengeräusch des untersuchten Sechszylinder Dieselfahrzeugs bei 1500 1/min Motordrehzahl.

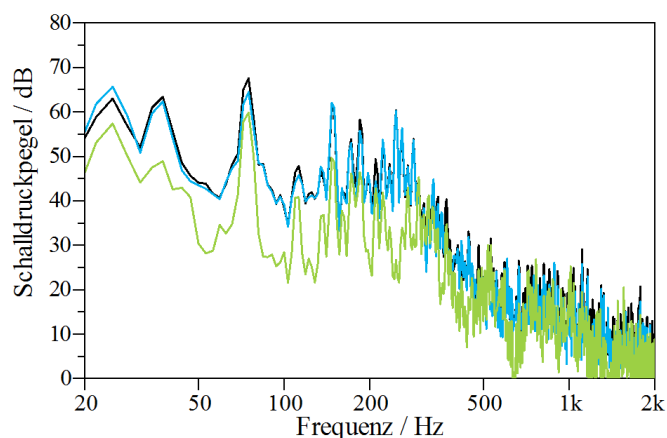
Die dominanten Beiträge zum Fahrzeuginnengeräusch sind in Abbildung 2 dargestellt. Den im Gesamtschalldruckpegel höchsten Beitrag leistet der Motor und auch im Spektrum stellt sich der Beitrag als prävalent dar. Bei der dritten Motorordnung ist, wie erwartet, der Motor die dominante Schallquelle, wobei eine Trennung von etwa 20 dB zum Beitrag der Räder erreicht werden kann. Für die sechste Motorordnung ergeben sich hohe Beiträge von Ansaugtrakt und Motor, welche sich teilweise im Gesamtgeräusch auslösen. Der Hinterachsträger leistet vor allem bei niedrigen Frequenzen unterhalb 75 Hz einen hohen Beitrag, wohingegen das Getriebe vor allem bei Frequenzen um 500 Hz

einen Beitrag leistet. Der Beitrag der Räder zum Fahrzeuginnengeräusch ist wie erwartet gering, da mit profillosen Reifen auf glatter Rolle gefahren wurde. Durch den Betriebszustand bei niedriger Drehzahl und Last, leistet die Schalldämpfermündung bei diesem Fahrzeug nur einen geringen Beitrag.



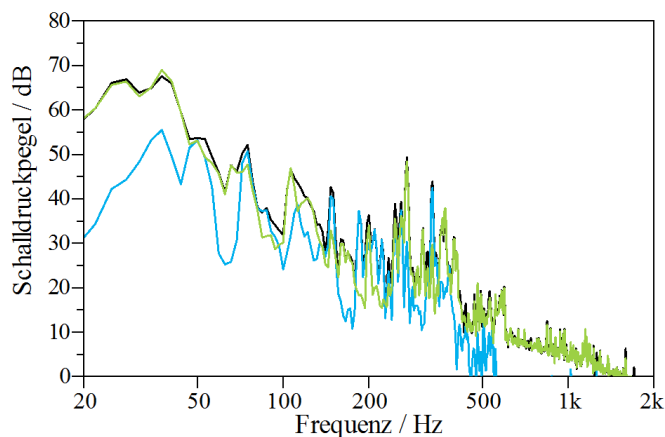
**Abbildung 2:** Dominante Beiträge von Ansaugtrakt (gelb), Getriebe (rot), Hinterachsträger (grün), Motor (blau), Räder (dunkelgrau), Schalldämpfermündung (hellgrau) zum Fahrzeuginnengeräusch (schwarz) des untersuchten Sechszylinder Dieselfahrzeugs bei 1500 1/min Motordrehzahl.

Die Quelle Motor wurde mit ebenfalls Beschleunigungsaufnehmern und Mikrofonen im Motorraum charakterisiert, daher kann die Aufteilung des Beitrags des Motors in Luft- und Körperschallanteile untersucht werden. In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass gerade im Frequenzbereich unter 300 Hz hohe Anteile des Luftschalls auftreten. Das kann als Hinweis darauf dienen, dass die übliche Aufteilung von Körper- und Luftschall nicht immer sinnvoll ist, und noch genauer untersucht werden sollte.



**Abbildung 3:** Aufteilung des Beitrags des Motors (schwarz) in Luft- (blau) und Körperschallanteile (grün) bei dem untersuchten Sechszylinder Dieselfahrzeug bei 1500 1/min Motordrehzahl.

Bei der Aufteilung des Beitrags des Hinterachsträgers in Körper- und Luftschallanteile, wie in Abbildung 4 dargestellt, zeigt sich, dass in diesem Fall der Körperschallanteil dominiert. Bei künftigen Messungen kann hier auf die Messung des Luftschallanteils verzichtet werden und somit Sensoren beziehungsweise Kanäle eingespart werden, ohne einen Qualitätsverlust in die Analyse einzuführen.



**Abbildung 4:** Aufteilung des Beitrags des Hinterachsträgers (schwarz) in Luft- (blau) und Körperschallanteile (grün) bei dem untersuchten Sechszylinder Dieselfahrzeug bei 1500 1/min Motordrehzahl.

Im Fall des Getriebes zeigt sich keine eindeutige Dominanz eines Anteils. Je nach betrachtetem Frequenzbereich, leistet Luft- oder Körperschall den dominanten Anteil, so dass in diesem Fall beide Beiträge für ein gutes Analyseergebnis betrachtet und analysiert werden müssen.

## Zusammenfassung

Zur Analyse der Beiträge der dominanten Schallquellen zum Fahrzeuginnengeräusch wurde die Methode der Operationellen Transferpfadanalyse erfolgreich eingesetzt. Der Vergleich von gemessenem und synthetisiertem Gesamtgeräusch zeigte eine sehr gute Übereinstimmung und auch die Betrachtung der Beiträge der einzelnen Schallquellen zeigte plausible Ergebnisse, die zur Bestimmung der dominanten Schallquellen in spezifischen Frequenzbereichen genutzt werden können. Die Möglichkeit der Auftrennung der Beiträge einzelner Quellen in Luft- und Körperschallanteile, ermöglicht einen detaillierteren Einblick in die Schallübertragung am Fahrzeug.

## Literatur

- [1] Noumura, K., J. Yoshida: *Method of transfer path analysis for vehicle interior sound with no excitation experiment*. In: *FISITA 2006, Yokohama, Japan, F2006D183* (2006)
- [2] Putner, J., M. Lohrmann: *Beitragsanalyse des Fahrzeugaußengeräuschs bei der simulierten Vorbeifahrt unter Verwendung von Betriebsmessungen*. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA 2011, Düsseldorf, Deutschland, 131-132* (Dt. Gesell. für Akustik e. V., Berlin, 2011)
- [3] Putner, J., H. Fastl, M. Lohrmann, A. Kaltenhauser, F. Ullrich: *Operational transfer path analysis predicting contributions to the vehicle interior noise for different excitations from the same sound source*. In: *INTER-NOISE 2012, New York City, USA, 2336-2347* (2012)
- [4] Putner, J., M. Lohrmann, H. Fastl: *Contribution analysis of vehicle exterior noise with operational transfer path analysis*. *Proceedings of Meetings on Acoustics 19, 040035* (2013)