

Luftschallübertragungsfunktionen für die TPA bei Fahrzeugen

Otto Martner, Roland Lippold, Carsten Zerbs

Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg bei München, Robert-Koch-Straße 11, Email: OMartner@MuellerBBM.de

Einleitung

In der TransferPfadAnalyse (TPA) werden einzelne Übertragungswege für den in die Struktur eingeleiteten Körperschall (KS) oder für den abgestrahlten Luftschall (LS) der Hauptschallquellen zu einem bestimmten Aufpunkt, der z.B. ein Beschleunigungsaufnehmer auf der Struktur oder aber ein Mikrofon sein kann, gemessen. In der Praxis werden dazu häufig folgende Messverfahren verwendet

- direkte Messung (d.h. Anregung an der Quellposition der Struktur und Messung der Antwort an der Empfangsposition) oder
- reziproke Messung (d.h. Anregung an der eigentlichen Empfangsposition und Messung an der eigentlichen Quellposition)

Die Anregung erfolgt in der Regel mit Lautsprecher, Impulshammer oder Shaker.

Die Qualität der Übertragungsfunktion (ÜF) hat eine unmittelbare Auswirkung auf die Ergebnisse der TransferPfad-Synthese (TPS), in der die prognostizierten Schalldruckzeit-signale der Teilpfade an einem Aufpunkt additiv zusammengefasst werden und synthetisiert werden. Insbesondere bei der gleichzeitigen Verwendung von direkt und reziprok gemessenen ÜFen spielen die Phasen eine wichtige Rolle. Nachfolgend wird zunächst auf das prinzipielle Vorgehen bei der reziproken Messmethode am Beispiel der LS-ÜF-Messung für eine Innengeräuschprognose des Abgasmündungsgeräusches mit Hilfe einer speziellen Volumenschallquelle eingegangen.

Reziproke Übertragungsfunktionsbestimmung

Reziprozitätsbedingung

Geht man davon aus, dass an der Abgasanlage ein Schalldruck p_1 und der Schallfluss q_1 auftreten und dadurch im Fahrzeuginneren der Schalldruck p_2 und der Schallfluss q_2 erzeugt wird (s. Abbildung 1, oben), so kann das Gesamtübertragungsverhalten der Ausgangsgrößen bezogen auf die Eingangsgrößen analog zur Wandlertheorie [1] in Form einer Kettenmatrix (Gleichung (1)) angegeben werden. Das Gesamtsystem ist in einem Ersatzschaltbild (s. Abbildung 1, unten) dargestellt.

Der Übertragungsvierpol ist eingangsseitig mit dem Quellenwiderstand Z_Q belastet, ausgangsseitig sieht der Vierpol im vorliegenden Beispiel die akustische Impedanz des Sensors Z_S .

Für die TPA von Bedeutung sind die ÜF von der Quelle in Richtung Innenraum, die in Gleichung (2) als Schalldruck im Fahrzeug zu Schalldruck an der Quelle und in Gleichung

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ q_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} p_2 \\ q_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

(3) als Schalldruck im Fahrzeug bezogen auf den Schallfluss an der Quelle angegeben sind.

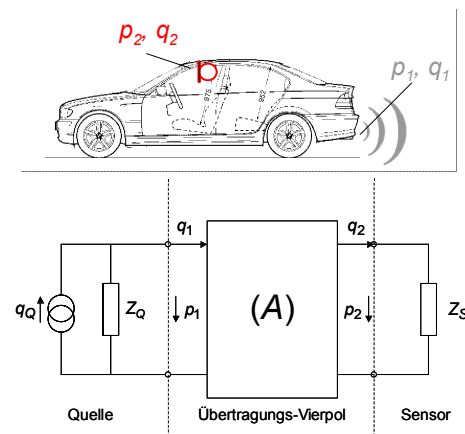


Abbildung 1: Modellierung des Übertragungsverhaltens von einer Schallquelle (Index 1) zu einem Empfänger (Index 2), oben Beispiel für Abgasanlage als Quelle und Messpunkt im Fahrzeug als Empfänger.

$$H_{p_1 p_2} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{Z_S}{A_{11} Z_S + A_{12}} \quad (2)$$

$$H_{q_1 p_2} = \frac{p_2}{q_1} = \frac{Z_S}{A_{21} Z_S + A_{22}} \quad (3)$$

Zur Überprüfung zu welcher der ÜFen nun eine reziprok gemessene ÜF in der Praxis auch sinnvoll gemessen werden kann, wird die Reziprozitätsbedingung herangezogen. Demnach ist die Übertragungssymmetrie des Übertragungsvierpols dann gegeben, wenn die Determinante der Kettenmatrix den Wert 1 ergibt (Gleichung (4)).

$$A_{11} \cdot A_{22} - A_{12} \cdot A_{21} = 1 \quad (4)$$

Die Erfüllung dieser Bedingung führt zunächst zu der in Gleichung (5) dargestellten Reziprozitätsbedingung. Demnach verhält sich der Schalldruck im Fahrzeug zum Schalldruck an der Schallquelle außerhalb des Fahrzeuges und zwar unter der Bedingung, dass im Fahrzeug keine weitere Schallquelle vorhanden ist ($q_2=0$) genauso wie der Schallfluss an der Abgasanlage zum Schallfluss im Fahrzeug unter der Bedingung, dass der Schalldruck an der Quelle verschwindet ($p_1=0$). Letzteres ist in der Praxis nicht erfüllbar.

$$H_{p_1 p_2} = \frac{p_2}{p_1} \Big|_{q_2=0} = \frac{q_1}{q_2} \Big|_{p_1=0} \quad (5)$$

$$H_{q_1 p_2} = \frac{p_2}{q_1} \Big|_{q_2=0} = \frac{p_1}{-q_2} \Big|_{q_1=0} \quad (6)$$

In Gleichung (6) wird der im Fahrzeug gemessene Schalldruck auf den Schallfluss an der Abgasanlage bezogen und zwar unter der Annahme dass an der Empfangsseite ($q_2=0$) keine weitere Schallquelle vorhanden ist. Dies wird mit dem Verhältnis Schalldruck an der Quelle bezogen auf den Schallfluss an der Sendeposition unter der Bedingung, dass keine Quelle mehr am Punkt 1 vorhanden ist ($q_2=0$).

Volumenflussmessung

Während sich die Messung des Schalldrucks in einem Abstand zu einer Schallquelle relativ einfach darstellt, muss zur Messung des Volumenflusses ein gewisser Aufwand betrieben werden. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für eine Schallquelle, bestehend aus einem Gehäuse mit eingebautem Lautsprecher, Volumen ca. 10,5 l und einer Rohröffnung (Durchmesser 50mm). Ferner sitzen wandbündig eingebaut zwei Mikrofone im Abstand l und $l-s$ von der Rohröffnung.

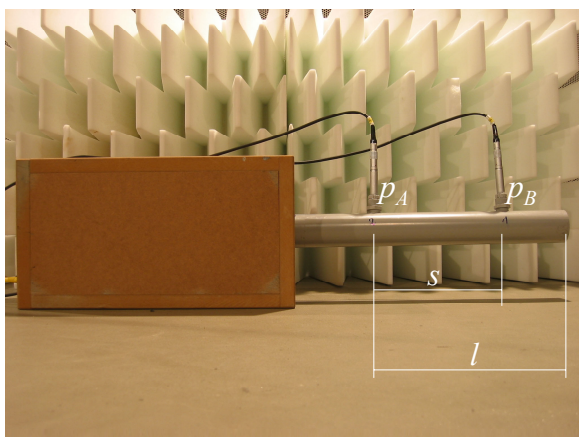


Abbildung 2: Volumenflussquelle mit Messung des Volumenflusses nach der 2-Mikrofon-Methode, 50 mm Rohrdurchmesser, 10,5 l Gehäusevolumen (Hintergrund: reflexionsarmer Halbraum)

Der Schallfluss q wird nun aus der Differenz der hin- und rücklaufenden Schallwelle im Rohr nach Gleichung (7) berechnet.

$$q = \frac{p_h - p_r}{Z_a} \quad (7)$$

- p_h hinlaufende Druckwelle
- p_r rücklaufende Druckwelle
- Z_a Wellenwiderstand im Rohr, $Z_a = \rho c/S$

Hin- und rücklaufende Schallwellenanteile werden aus den Mikrofonsignalen an den Positionen A und B bestimmt.

$$p_A = p_h \exp(jkl) + p_r \exp(-jkl) \quad (8)$$

$$p_B = p_h \exp(jk(l-s)) + p_r \exp(-jk(l-s)) \quad (9)$$

Der Schallfluss der Volumenschallquelle beträgt schließlich:

$$q = \frac{p_A}{Z_a} \cdot \frac{H_{BA} \cos(k(l-s)) - \cos(kl)}{jH_{BA} \sin(ks)} \quad (10)$$

- p_A Schalldruck an der Position A
- H_{BA} ÜFn der Schalldrücke an den Positionen A und B, $H_{BA} = p_A/p_B$
- k Wellenzahl

Richtwirkung

Abbildung 3 zeigt die Richtcharakteristik der Volumenflussquelle als Terzpegeldifferenz zwischen dem Schalldruck an 5 einzelnen Mikrofonen auf einer Hüllfläche um die Öffnung und dem Mittelwert aus allen Messpositionen. Die Grenzen für die ungerichtete Abstrahlung nach DIN EN 20140-3 [2] können deutlich eingehalten werden..

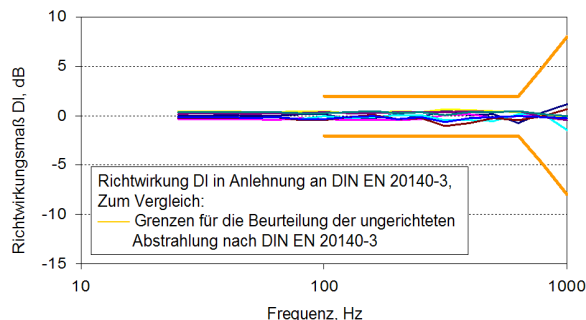


Abbildung 3: Volumenflussquelle mit Messung des Volumenflusses nach der 2-Mikrofon-Methode, Rohrdurchmesser 50 mm, Gehäusevolumen=10,5 l

Ergebnisse

Das Verfahren wurde mit Luftschall-ÜF aus der klassischen TPA verglichen und bestätigt. Der Vorteil besteht in der gleichzeitigen Messung reziproker ÜF zu mehreren Teilquellen. Die 2-Mikrofon-Methode eignet sich zur Messung des Volumenflusses im Rahmen der Anwendung in der TPA.

Literatur

- [1] Zwicker, E., Zollner, M., (1984), Elektroakustik, Springer-Verlag
- [2] DIN EN ISO 20140-3: Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen. Teil 2: Angaben von Genauigkeitsanforderungen. Mai 1993