

Quellencharakterisierung durch Multipolsynthese

Michael Vorländer, Gottfried K. Behler

Institut für Technische Akustik, 52056 Aachen, Deutschland, Email: gkb@akustik.rwth-aachen.de

Einleitung

Die Binaurale Transferpfadanalyse und -synthese (BTPA/BTPS) wird als Werkzeug zur Analyse und Optimierung der Übertragungsmechanismen zwischen Schallquelle und Geräuschwahrnehmung innerhalb von Fahrzeugen eingesetzt. Die Leistung der BTPA/BTPS ist in der Separation von Quelle und Übertragungsstrecke bis hin zu den Fahrerohren zu sehen, wodurch eine gezielte Untersuchung des Einflusses einzelner Komponenten und Übertragungsstrecken auf das Innengeräusch möglich wird. Bei der Anregung des Schallfeldes durch den Motor fehlt zur Zeit noch eine robuste Modellierung der Quelle, so dass eine einfache und von der Einbausituation unabhängige Quellencharakterisierung nicht möglich ist. An dieser Stelle setzt hier beschriebene Multipolsynthese und Schnittstellendefinition an, die eine von der Umgebung unabhängige Quellencharakterisierung ermöglicht.

Schnittstellendefinition bei der BTPA/BTPS

Für die Bestimmung der Luftschallübertragung des Motors in den Fahrzeuginnenraum werden bisher fünf bis sechs Mikrofone im Nahfeld des Motors eingesetzt (Abbildung 1). Hierbei werden zwangsläufig Orte innerhalb des Motorraums gewählt, die einerseits zugänglich und frei sein müssen und andererseits einen gewissen Abstand von den Schall abstrahlenden Oberflächen haben müssen.

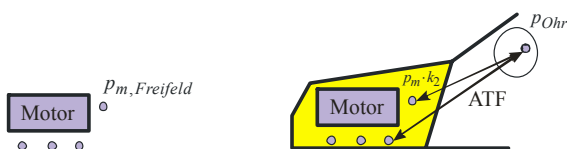


Abbildung 1: Bisherige Betrachtung des Luftschallpfades: links: Nahfeldschalldrücke im Freifeld; rechts: Korrektur der Freifeldmessungen für die BTPS

Die Bestimmung der ATF¹ zwischen diesen Punkten und dem Innenraum kann weitestgehend fehlerfrei mit Hilfe der reziproken Messtechnik erfolgen. Schwieriger ist die Übertragung der Freifeldmessungen vom Motorprüfstand auf den eingebauten Zustand, da der erzeugte Schalldruck relativ stark von der Einbausituation beeinflusst ist. Aus diesem Grund werden Korrektur-Spektren ($k_2(f)$) zur Anpassung der Freifeldmessung an die Messung im eingebauten Zustand gewonnen. Diese Spektren lassen sich aber nur für eine Paarung aus Motor und Fahrzeug gewinnen, da natürlich der Einbau eines anderen Motors zu veränderten Abstrahlbedingungen im Motorraum führen wird.

¹ Acoustical Transfer Function: Übertragungsfunktion zwischen zwei physikalisch eindeutig beschreibbaren Punkten. Z.B. zwischen Kraft am Einleitungspunkt und Schalldruck am Empfangspunkt. Andere, sinnvolle Kopplungen z.B. zwischen Schnelle und Schalldruck sind ebenfalls möglich.

Eine grundsätzlich exakte Formulierung der ATF besteht darin, den Schalldruck am Fahrerohr auf die tatsächlichen Luftschallquellen zu beziehen, d.h. ihn als Summe über die einzeln abgestrahlten Volumenflüsse Q_n aller schwingenden Oberflächen darzustellen:

$$p_{Ohr} = \sum_n Q_n \cdot (p_{Ohr} / Q_n) \quad (1)$$

Als Eingangsgrößen für die Synthese sind bei laufendem Motor die Oberflächenschnellen v_n zu messen und mit den zugehörigen Teilflächen S_n zu multiplizieren, um den Volumenfluss $Q_n = S_n v_n$ zu erhalten. Als Schnittstelle kann ebenso die schwingende Oberfläche des Motors definiert werden.

Ersatzquellenmodell für den Motor über die Multipolstrahlersynthese

Das Verfahren der Multipolquellensynthese ist im Grundsatz nicht neu, weshalb für die theoretische Herleitung auf einschlägige Literatur[1] verwiesen wird. Die Idee besteht darin, ein Schallfeld durch die Verwendung von Ersatzstrahlern, die in ihrer Anzahl, Stärke und Abstrahlung einstellbar sind, nachzubilden, so dass das Originalschallfeld hinreichend exakt nachgebildet wird.

Modellbildung

Zunächst Abbildung 5 a) wird das Schallfeld des Motors mit einer möglichst großen Anzahl von Mikrofonen aufgenommen. Nach der Platzierung von Multipolen im Inneren des Motors werden im nächsten Schritt deren frequenzabhängigen Gewichte bestimmt und die neue Abstrahlung ins Fernfeld berechnet (Abbildung 5 b). Hierbei sollen die Schalldrücke an den Messpositionen reproduziert werden. Nun wird das detaillierte Motormodell durch ein vereinfachtes Modell ersetzt und auf der Oberfläche (Abbildung 5 c) des neuen Modells wird eine Ersatzschnelleverteilung erzeugt (Abbildung 5 d), die aus der direkten Schnelleverteilung der Multipole und der Annahme einer schallharten Oberfläche stammt. Eine möglichst exakte Nachbildung des Motors ist hierbei nicht erforderlich, ja sogar unerwünscht. Im letzten Schritt (Abbildung 5 e) kann über die BEM der zu dieser Schnelleverteilung gehörende Schalldruck im freien Raum und damit auch an den bekannten Messpunkten berechnet werden. Hiermit ist dann eine abschließende Validierung der Modellbildung gegeben.

Definition der geeigneten Schnittstelle für den Luftschallanteil

Mit diesem Modellansatz ist es nun möglich, die Quelle in eine beliebige Umgebung zu bringen. Hierbei bleibt die Oberflächenschnelle unberührt, die Schalldrücke in der Umgebung der Quelle hängen aber sehr wohl von den Einbaubedingungen ab.

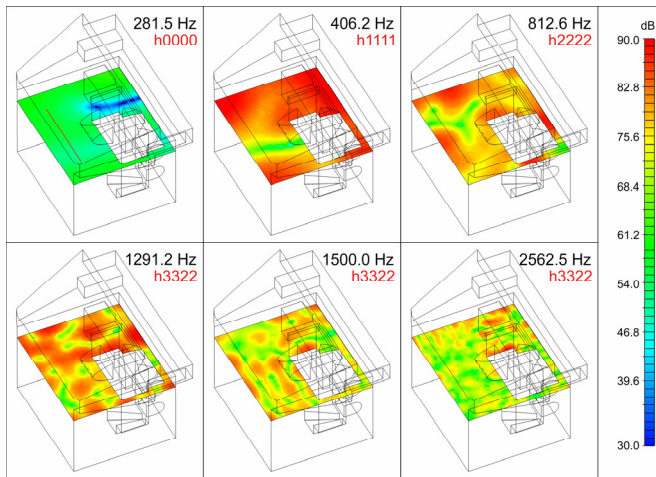


Abbildung 2: FEM-Simulation der Schalldruckverteilung im Motorraum mit Oberflächenschnelle aus der Multipolstrahlersynthese auf einem vereinfachten Ersatzmotormodell

Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, kann eine eindeutige Zuweisung der Einspeisepositionen für die ATF im Volumen nicht gefunden werden, da das Motorraumschallfeld im wesentlichen stark durch statistische Modenverteilungen geprägt ist. Das gleiche gilt für andere denkbare Schnittstellen, hier namentlich die Schottwand (Abbildung 3).

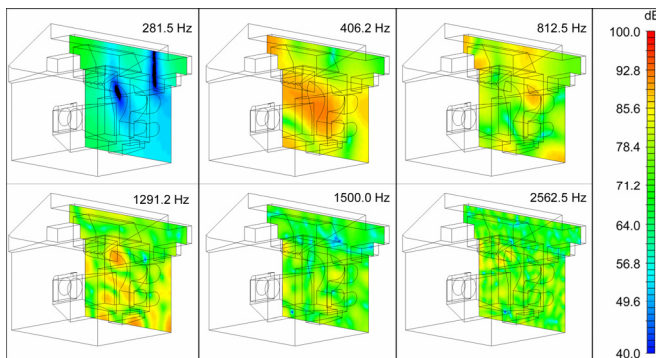


Abbildung 3: Wie Abbildung 2 jedoch auf der Schottwand

Betrachtet man die entlang einer Linie auftretenden spektralen Schwankungen, so ist festzustellen, dass auch unterschiedliche Dämpfungen des Motorraumes[2] kaum Änderungen verursachen (vgl. Abbildung 4). Aus den hier dargestellten Kurvenverläufen wird deutlich, dass eine willkürliche Wahl der Ankopplungsstellen für die ATF mit erheblichen, zufälligen Schwankungen beaufschlagt ist.

chen, zufälligen Schwankungen beaufschlagt ist.

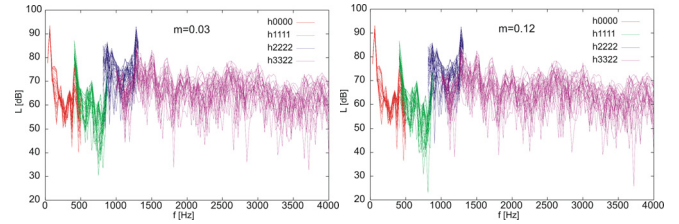


Abbildung 4: Schwankung des Schalldrucks im Motorraum entlang einer Linie (vgl. Abbildung 2, h0000) bei einer Bedämpfung des Volumens mit $m=0,03$ (links) und $m=0,12$ (rechts).

Sinnvoller erscheint die Wahl einer der Quelle nahen Schnittstelle, da hier eine eindeutige Beziehung zur Schallschnelle besteht (vgl. eq. (1)). Da der in eine ATF eingespeiste (Teil)-Volumenfluss $Q_n = S_n v_n$ über den Flächenanteil S_n und die dazugehörige Schnelle v_n berechnet werden muss, bleibt allerdings zu untersuchen, wie die Teilflächen und die darauf zu integrierenden Schnellen behandelt werden können.

Zusammenfassung

Die vorgestellte Modellierung des Motors durch die Multipolstrahlersynthese erlaubt eine systemtheoretisch korrekte Betrachtung der Luftschallquelle im Fahrzeug. Korrekturen zur Berücksichtigung der Einbausituation werden nicht benötigt, da die Schnellequelle unbeeinflusst durch die Umgebung arbeitet. Hinsichtlich der Ankopplung an die ATF werden weitere Untersuchungen benötigt. Insbesondere die großen statistischen Schwankungen der ATF bei nur geringfügiger Verlagerung der Messorte verlangt nach einem neuen Ansatz zur Beschreibung der Schnittstelle.

Literatur

[1] M. Ochmann, *Die Multipolstrahlersynthese - ein effektives Verfahren zur Berechnung der Schallabstrahlung von schwingenden Strukturen beliebiger Oberflächengestalt*, Acustica, Vol. 72, 233-246, 1990

[2] Kellert, T. Steinbacher, D., *Influence of hoses on the sound field of engine compartments*, Fortschritte der Akustik - CFA/DAGA 2004, Strasbourg

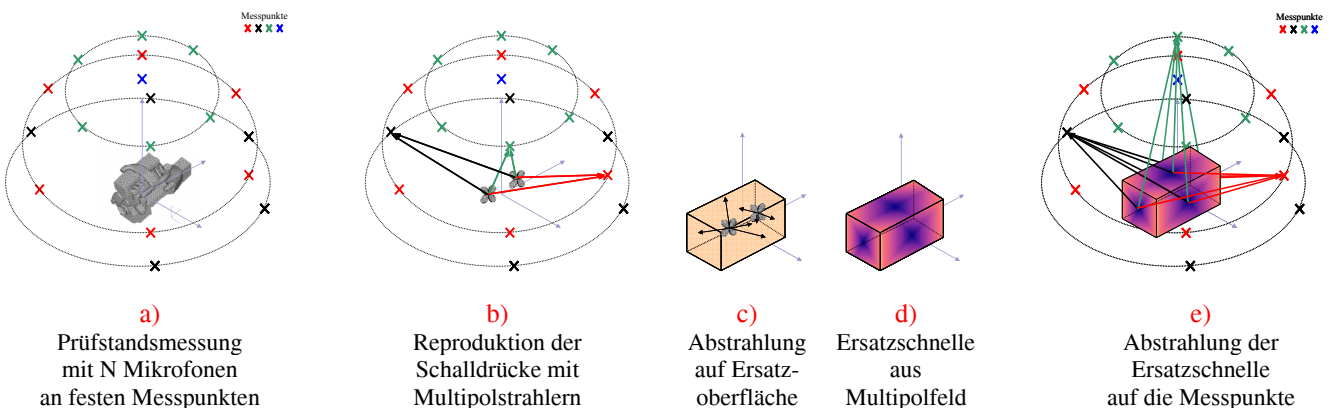


Abbildung 5: Schritte bei der Multipolstrahlersynthese und der nachfolgenden Modellbildung zur Generierung des abgestrahlten Schalls über die auf einer vereinfachten Ersatzoberfläche abgebildete Schnelleverteilung aus der Multipolabstrahlung