

Einsatz der Multipolsynthese für die Ermittlung der Schnelleverteilung auf der Motoroberfläche

Tobias Kellert, Björn Römer

Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, 52056 Aachen, Deutschland, Email: tke@akustik.RWTH-Aachen.de

Einleitung

In der Automobilindustrie werden die Entwicklungszyklen immer kürzer. Weil die meisten grundlegenden Entscheidungen schon in der frühen Entwicklungsphase getroffen werden, wird es auch für die Fahrzeugakustik immer wichtiger, hier bereits hier Aussagen über die Auswirkungen von gestalterischen Maßnahmen auf die Akustik liefern zu können. Um schon in frühen Entwicklungsstadien Aussagen über die „Sound Quality“ und Gestaltungsmöglichkeiten beim „Sound design“ zu haben, ist es unabdingbar, computergestützte Verfahren zu entwickeln, denn Fahrzeuge, an denen gemessen und experimentiert werden kann, stehen noch nicht zur Verfügung.

In der Fahrzeugakustik teilt man den Schall in zwei Teile auf: zum einen den Körperschall und zum anderen den Luftschall, der von den schwingenden Schallquellen, etwa dem Powertrain direkt in die Luft abgestrahlt wird. Betrachtet man nun die Übertragungswege des Luftschalls, der vom Motor in den Innenraum geht, so stellt man fest, dass das erste Übertragungsglied immer der Motorinnenraum ist, der nun in geeigneter Form zu modellieren ist.

In früheren Beiträgen wurde gezeigt, dass eine FEM-Simulation des Schallfeldes im Motorraum prinzipiell möglich ist [1,2]. Für eine gute Simulation sind solide Eingangsdaten für die schallabstrahlenden Flächen notwendig. Wenn bereits Motoren existieren können diese bezüglich ihrer Freifeldabstrahlung auf Motorprüfständen vermessen werden.

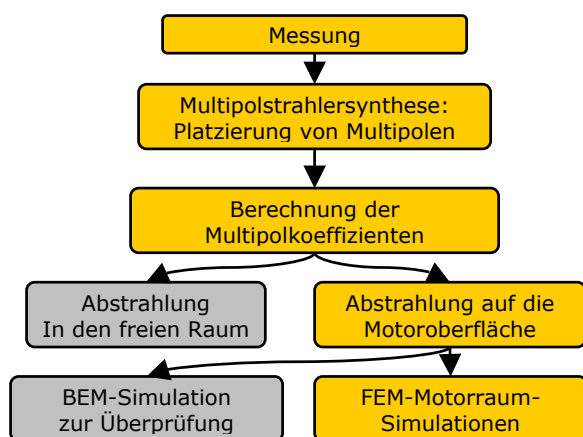


Abbildung 1: Vorgehensweise der Methodik (orange Felder) und ihre Überprüfung (graue Felder)

Die Idee

Im Motorprüfstand wird die Schallabstrahlung mit einigen, wenigen Mikrofonen erfasst. Wäre es möglich, aus den Messungen in einen Motorprüfstand eine Schallschnellebelegung auf den schwingenden Strukturen zu gewinnen,

könnten diese als Eingangsdaten für die FEM-Simulation verwendet werden.

Nun ist die direkte Messung der Schnellen auf den Oberflächen mit Hilfe von Schnellesensoren aufwändig und bei den vorherrschenden Bedingungen auch nur schwer durchführbar. Das Aufstellen weiterer Mikrofone im Fernfeld und bei Bedarf auch im Nahfeld stellt jedoch einen geringen Aufwand und daher die gängige Messpraxis dar.

Benötigt wird also ein Rechenverfahren, das aus den zur Verfügung stehenden Messdaten eine Schnellebelegung auf der Oberfläche ermittelt.

Die Multipolstrahlersynthese

Neben BEM gibt es noch die Multipolstrahlersynthese, um die Schallabstrahlung schwingender Strukturen numerisch zu beschreiben [3].

Bei der Multipolstrahlersynthese kann eine komplizierte schwingende Struktur durch die durch die geschickte Anordnung einiger, weniger Multipole unterschiedlicher Ordnung in ihrer Abstrahlung beschrieben werden. Für diese Anordnung entsteht ein Gleichungssystem, das auch über- oder unterbestimmt sein kann. Als Ergebnis einer Variationsrechnung und Fehlerminimierung erhält man die Koeffizienten der Multipole. Dabei sind die Rechenleistungen und der Speicherbedarf herkömmlicher Computer bereits völlig ausreichend. Für eine genauere Beschreibung des Verfahrens sei auf die Literatur verwiesen [3]. Mit Hilfe der Multipolanordnung kann in jedem beliebigen Punkt des Freifeldes der Schalldruck und die Schallschnelle bestimmt werden.

Bestimmt man nun genau in den Knoten eines Motoroberflächenmeshs die Schallschnellen, so gelangt man zu den Eingangsdaten für eine FEM-Motorraumsimulation. Dabei muss das Oberflächenmesh auch begrenzende Fläche des FEM-Mesh sein.

Ferner kann das Oberflächenmesh dazu verwendet werden, anhand einer BEM-Simulation den Schalldruck in den Messpunkten zu bestimmen und den Fehler gegenüber der Ursprungsmessung zu ermitteln. Die Methodik wird in Abbildung 1 noch mal anschaulich dargestellt.

Die Modellbildung des Motors

Um ein Oberflächenmesh des Motors zu erhalten, ist es nötig, ein Modell des Motors zu haben. Dabei gilt es, einen geeigneten Mittelweg zwischen Detailtreue und Vereinfachung zu finden. Viele Details bedeuten viele Knoten und damit einen hohen Rechenaufwand und zu wenig Details lassen die FEM-Motorraumsimulation zu ungenau werden. Wichtig ist auch, dass das Modell gegenüber dem Original-

motor volumentreu ist. Der in dieser Arbeit untersuchte 1,4-l-Ottomotor wurde durch das Modell in Abbildung 2 nachgebildet. Das verwendete Mesh hat eine Kantenlänge von max. 2 cm und damit eine obere Grenzfrequenz von 2,9 kHz ist auch dort abgebildet.

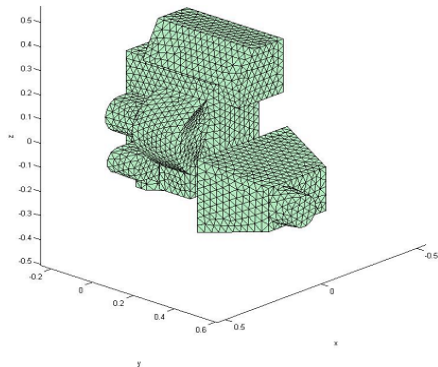


Abbildung 2: Das Modell mit Mesh des 1,4-l-Ottomotors.

Die Messungen

Es wurde darauf Wert gelegt, einen in der Praxis noch einsetzbaren Messaufwand nicht zu überschreiten. Der 1,4-l-Motor wurde auf einem Motorprüfstand vermessen. Dabei wurden 18 Mikrofone im Fernfeld und 6 Mikrofone möglichst nah an den sechs Seiten des Motors positioniert. Gemessen wurde das übliche Messprogramm mit Leerlaufmessungen und Hochläufen unter Teillast und Vollast.

Die Berechnungen

Da es keine genauen Untersuchungen gibt, wo und wie die Multipole im Motor idealer Weise zu platzieren sind, wurde eine Anordnung gewählt, die ganz sinnvoll erschien, jedoch nicht den Anspruch hat, optimal zu sein: Dabei wurde empirisch ein Multipol in der Mitte des Getriebes platziert, einer in der Mitte der Kurbelwelle und zwei in der Höhe der Zylinder (vgl. Abbildung 3).

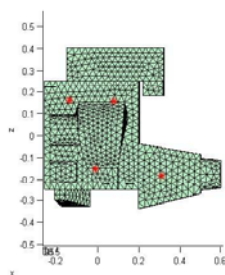


Abbildung 3: Die Anordnung der Multipole (jeweils mittig in der Tiefe)

Die Ordnungen der Multipole wurden variiert. Dabei wurde mit vier Monopolen angefangen und mit zwei Multipolen dritter Ordnung in Getriebe und Kurbelwellengehäuse, sowie zwei Multipolen zweiter Ordnung im Zylinderbereich aufgehört.

Als Fehlermaß wird im folgenden die Abweichung der Kette der durch die Multipolstrahlersynthese – Oberflächenschnelle – BEM – Messpunkte erzielten Schalldrücke zu den gemessenen Daten betrachtet. Die Fehler der Berechnung der Multipolkoeffizienten sind beliebig klein und hängen nur

von dem Zeitpunkt ab, an dem die numerische Berechnung abgebrochen wird.

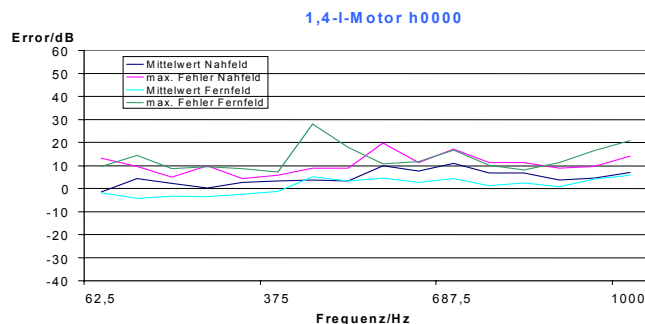


Abbildung 4: BEM-Simulation mit vier Monopolen (maximaler Fehler ist als Betrag aufgetragen).

Die Fehler der BEM-Abstrahlung der beiden Extermfälle sind in den Abbildungen 4 und 5 zu sehen. Es fällt auf, dass die Multipole niedriger Ordnung das Feld bei niedrigen Frequenzen besonders gut nachbilden können und die Multipole höherer Ordnung bei höheren Frequenzen das Feld besser nachbilden können. Ferner kann festgestellt werden, dass die Mittelwerte nur sehr kleine Fehler aufweisen. Daraus kann gefolgert werden, dass die BEM-Abstrahlung energetisch betrachtet das Schallfeld des Motors korrekt wiedergibt.

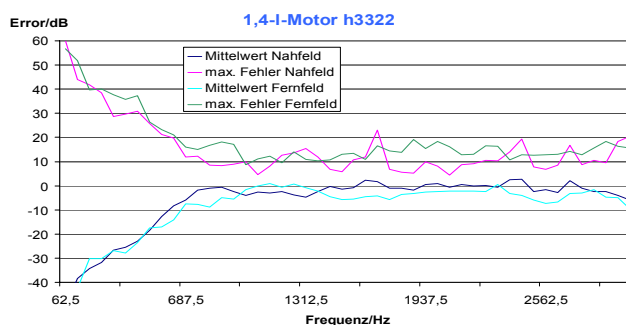


Abbildung 5: BEM-Simulation mit zwei Multipolen dritter Ordnung (in Getriebe und Kurbelwellengehäuse) und zwei zweiter Ordnung im Zylinderbereich

Zusammenfassung und Ausblick

Die Multipolstrahlersynthese stellt ein leistungsfähiges Werkzeug dar, um aus relativ wenigen Motorprüfstandsmessungen Schnellebelegungen auf der Motoroberfläche mit einem vertretbaren Rechenaufwand zu ermitteln. Dabei sind sowohl bezüglich der Lage der Multipole als auch bezüglich der Anzahl der bei der Prüfstandsmessung gebrauchten Mikrofone noch weitere Überlegungen und Messungen nötig. Mit den Schnellebelegungen kann dann in BEM und FEM weitergerechnet werden.

Literatur

- [1] Kellert, T. et al.: Das Schallfeld in einem Kfz-Motorraum, Fortschritte der Akustik, DAGA 2003, Aachen 2003
- [2] Kellert, T. ; Steinbacher, D.: Influence of hoses on the soundfield of engine compartments, Proceedings of the Joint Congress, CFA/DAGA 2004, Strasbourg, 2004
- [3] Ochmann, M.: Die Multipolstrahlersynthese, Acustica, Vol. 72, S. 233-246, 1990