

Verfahren zur Bestimmung des Schallanteils der Karosserief Flächen unter Betriebsanregung mittels Doppelpuls-ESPI

Markus Gewalt, Ulrich Bernhard

Adam Opel AG, ITEZ, Abteilung N&V, Rüsselsheim; Email: markus.gewalt@de.opel.com

Einleitung

Die Optimierung des Innengeräusches ist eine der Hauptaufgaben der Akustik bei der Entwicklung von Fahrzeugen.

Um das Ziel eines optimalen Innengeräusches zu erreichen, werden heute eine Vielzahl von Mess- und Berechnungsverfahren eingesetzt.

Seit etwa 10 Jahren wird bei der Adam Opel AG mit berührungsloser flächiger optischer Messtechnik gearbeitet.

Vor etwas mehr als einem Jahr wurde die ESPI-Technik eingeführt, mit Hilfe derer man, erweitert um selbstentwickelte Software, Flächenschwingungen unter Betriebsanregung mit dem akustischen Übertragungsverhalten des Innenraums koppeln und somit deren Einfluss auf das Innengeräusch animiert darstellen kann.

Grundlagen

Problembeschreibung

Innengeräusch

Ein häufiger Grund für Beanstandungen des Innengeräusches von Fahrzeugen mit 4.-Zylinder Motoren sind Brummspitzen in der 2. Motorordnung. Dabei regen freie Kräfte des Motors die Karosserie zu Schwingungen an und diese führen zu einer Geräuschüberhöhung am Fahrerohr. Brummspitzen treten bei festen Drehzahlen auf und zeichnen sich durch einen deutlichen Anstieg des Schalldruckpegels innerhalb eines schmalen Drehzahlbandes aus.

Optische Messtechnik

Holografie

Aufgabe der optischen Messtechnik ist es, Flächen zu identifizieren, die für die Schallabstrahlung in den Innenraum der Fahrgastzelle verantwortlich sind. In der Vergangenheit wurde dafür die Doppelpuls-holografische Interferometrie (DPHI) eingesetzt. Dabei werden durch eine Doppelbelichtung zwei Hologramme der untersuchten Flächen auf einer Folie aufgenommen. Die Veränderung des Untersuchungsobjektes, die zwischen den beiden Belichtungen stattgefunden hat, wird bei der Rekonstruktion des Hologramms als Interferenzlinien sichtbar. Für die Interpretation der Ergebnisse war einige Erfahrung notwendig und der Zusammenhang zwischen der Schwingungsform und dem Innengeräusch konnte nur durch weitere Untersuchungen nachgewiesen werden.

Doppelpuls ESPI

Seit einigen Jahren steht eine neue optische Messtechnik zur Verfügung, das Doppelpuls-ESPI, Electronic Speckle Pattern Interferometry. Hierbei wird die Hologrammfolie durch eine elektronische Kamera ersetzt. Der Übergang vom DPHI zu Doppelpuls ESPI ist vergleichbar mit dem Schritt von der konventionellen Fotografie hin zur digitalen Fotografie.

Auch beim ESPI-Verfahren wird mit Laserlicht der Verformungszustand einer Oberfläche festgehalten. Allerdings entsteht auf dem

CCD-Chip der Kamera kein Hologramm, sondern ein Muster von Punkten, deren Form und Lage von der beobachteten Oberfläche abhängt. Dieses Muster bezeichnet man als Speckle Pattern.

Da bei diesem Verfahren der Objektschnitt während der Messung konstant bleibt, wird die direkte Verknüpfung der Schwingungsbilder mit der Geometrie des untersuchten Objektes möglich.

Durchführung

Betriebsschwingungsmessung

Als Voruntersuchung werden Innengeräuschmessungen mit Mikrofonen durchgeführt. Aus dem Messschrieb werden die Drehzahlen, bei denen Brummspitzen auftreten, bestimmt. Für die Messung der Schwingungsformen wird das Fahrzeug jeweils bei diesen Drehzahlen konstant betrieben.

Schwingungsformen

Die Schwingungsformen der einzelnen Flächen der Fahrgastzelle werden nacheinander mit dem DP-ESPI-Verfahren gemessen.

Da die einzelne ESPI Aufnahme keine Zeitinformation enthält, müssen relativ zu einer Zeitbasis mehrere Aufnahmen gemacht und daraus die Amplitude und Phase der Schwingungsform ermittelt werden. Dies erfolgt mittels Fourier-Analyse.

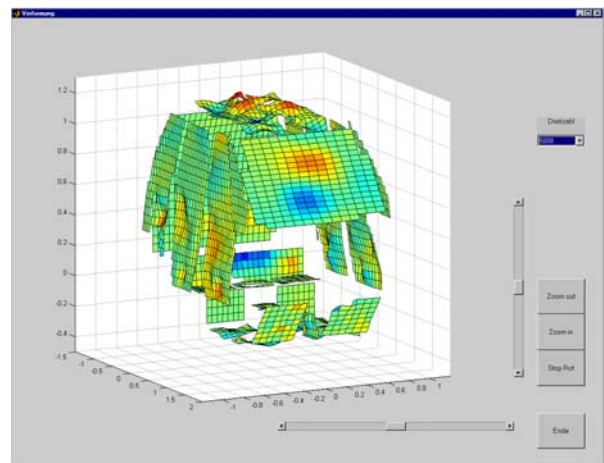


Abbildung 1: animierte Schwingungsform der Karosserie.

Die Lage der untersuchten Teilflächen wird im Fahrzeugkoordinatensystem bestimmt und zu einem Gesamtmodell zusammengefügt. Das so entstandene dreidimensionale Schwingungsmodell (vgl. Abbildung 1) kann animiert werden. Die Darstellung kann frei im Raum gedreht und vergrößert werden. Auf diese Weise wird die Beurteilung des Schwingungsverhalten wesentlich erleichtert.

Die Ergebnisse der Untersuchung können direkt mit Resultaten aus der Simulation verglichen werden.

Akustische Empfindlichkeit

Um den Zusammenhang zwischen den Schwingungen der Flächen und dem Innengeräusch herstellen zu können, benötigt man das akustische Übertragungsverhalten des Innenraumes. Diese Übertragungsfunktion wird als Akustische Empfindlichkeit (AE) bezeichnet. Um die AE auf direktem Weg zu messen, müsste man an der Stelle der abstrahlenden Fläche einen Elementarlautsprecher anbringen, den abgestrahlten Schallfluss und den Schalldruckpegel an der Position des Fahrers messen. Da dies ein sehr aufwendiges und schwieriges Verfahren ist, wendet man für die Messung der AE die inverse Methode an. Hierbei wird an der Position des Fahrers mit einem Lautsprecher ein Schallfluss erzeugt und direkt über den Flächen mit Mikrofonen der Schalldruck gemessen. Da für diese Übertragungsfunktion das Reziprozitätsprinzip gilt, ergibt sich die Akustische Empfindlichkeit des Innenraumes aus dem Quotienten des Schalldruckes und des Schallflusses.

$$AE = \frac{p}{Q} \quad \text{eq. 1}$$

AE: Akustische Empfindlichkeit

p: Schalldruck

Q: Schallfluss

Aus den Messungen wird die Akustische Empfindlichkeit für die Geometrie der Schwingungsform bestimmt und steht dadurch für weitere Berechnungen zur Verfügung.

Analyse

Synthese

$$Q = \vec{v} \cdot \vec{n} \cdot F_{el} \quad \text{eq. 2}$$

v: Schnelle der Oberfläche

n: Normalenvektor der Oberfläche

F_{el} : Flächeninhalt der Elementarfläche

Der Schallfluss, der durch eine Elementarfläche abgestrahlt wird, ist das Produkt aus der Schnelle in Normalenrichtung und dem Flächeninhalt.

Die Schnelle der einzelnen Flächen erhält man aus den ESPI-Messungen. Der Beitrag einer einzelnen Elementarfläche zum Schalldruckpegel an der Fahrerposition ergibt sich aus dem komplexen Produkt der Schnelle des Oberflächenpunktes mit der Akustischen Empfindlichkeit dieses Punktes mal dem Flächeninhalt (vgl. eq. 2). Der Anteil am Innengeräusch der einzelnen Flächen ist die Summe über alle Punkte der Fläche. Den Schalldruckpegel an der Fahrerposition erhält man aus der Summe über alle Berandungsflächen.

$$p_{IG} = \sum AE \cdot \vec{v} \cdot \vec{n} \cdot F_{el} \quad \text{eq. 3}$$

Darstellung

Das Ergebnis der Synthese lässt sich auf unterschiedliche Art darstellen.

Eine Möglichkeit ist ein Zeigerdiagramm in der komplexen Ebene (vgl. Abbildung 2). An Hand dieser Darstellung kann man den Anteil der einzelnen Teilflächen am Gesamtschalldruckpegel ablesen.

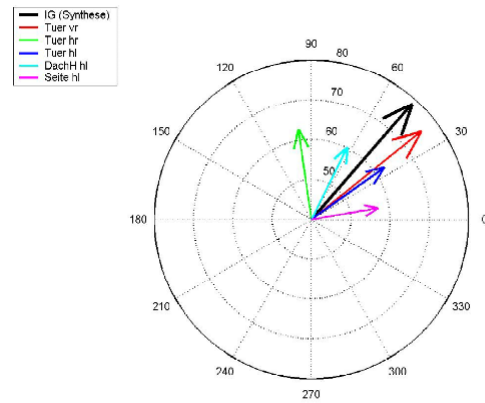


Abbildung 2: Komplexes Zeigerdiagramm der einzelnen Schallanteile.

Mit einer anderen Darstellung, die das Produkt aus AE und Schallfluss für jede einzelne Elementarfläche in der Fahrzeuggeometrie zeigt (vgl. Abbildung 3), ist es danach möglich, die kritischen Bereiche innerhalb einer Teilfläche zu identifizieren.

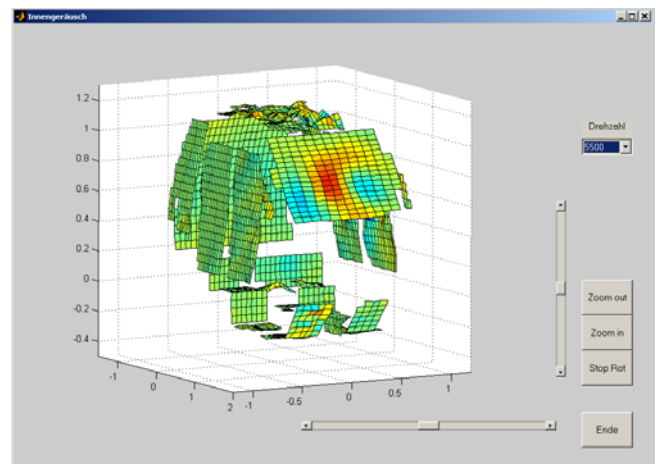


Abbildung 3: Schalldruckanteil der Elementarflächen

Zusammenfassung

Das bei der Adam Opel AG erstmals in der Automobilindustrie in dieser Form eingesetzte ESPI-Verfahren erlaubt, zusammen mit den intern entwickelten Erweiterungsmodulen, die gezielte Untersuchung und akustische Optimierung von Blech- und Innenraumflächen. Hiermit wurde ein neuer Baustein geschaffen, um das Schwingungs- und Akustikverhalten von Fahrzeugen besser zu verstehen.

Die Zielvorgaben für die weitere Entwicklung sind: Erweiterung des Anwendungsbereiches auf Strukturbereiche, stärkere Kopplung des Verfahrens mit den Simulationsverfahren, sowie noch deutlichere Integration und Verzahnung des Verfahrens in den Verbund der Versuchsmethoden wie Transferpfad-Analyse (TPA), Frequency Response Function Based Substructuring (FBS), Binaurale TPA u.A.