

Einfluss von poroelastischen Materialien auf die simulierte Akustik einer Fahrzeugplattform

Nikolai Lüsing¹, Daniel Heesel²

¹ P+Z Engineering GmbH, 85049 Ingolstadt, E-Mail: n.luesing@puz.de

² P+Z Engineering GmbH, 85049 Ingolstadt, E-Mail: d.heesel@puz.de

Einleitung

Seit mehreren Jahren wird im Automobilbau dem Bereich Akustik eine immer höhere Priorität beigemessen. Dies ist vor allem eine Reaktion auf die gestiegenen Anforderungen der Kunden, die sich vermehrt ein akustisches Feedback des Autos wünschen. Gleichzeitig erwartet die Umwelt, dass die Fahrzeuge immer leiser werden und keinen übermäßigen Lärm erzeugen.

Zusätzlich hat der Verbau von porösen Materialien, wie Teppiche und Sitzbezüge, (im weiteren Verlauf **PEM** (PoroElastic Materials) genannt) im Innenraum zugenommen (siehe Abbildung 1). PEM weisen dabei schalldämpfende Eigenschaften auf, weshalb sie die Akustik im Innenraum eines Fahrzeugs beeinflussen.

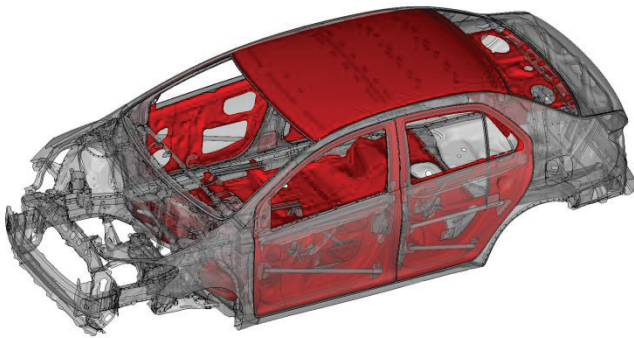


Abbildung 1: Verwendung von porösen Materialien (rot) in einer Fahrzeugkarosserie.

Im Folgenden wird dargestellt, wie sich in einer FE-Simulation die Verwendung von PEM auf die Akustik einer Fahrzeugplattform auswirkt.

Theorie

Der Physiker M. A. Biot erklärte in seiner 1955 vorgestellten Theorie (1), wie sich eine Welle in PEM fortpflanzt. Dadurch wurde es möglich, mit Hilfe der FE-Methode die Auswirkungen von PEM auf eine Schallwelle zu berechnen.

Um die Auswirkung von PEM auf den Schall berechnen zu können, werden 16 Materialparameter benötigt. Diese können in drei Hauptgruppen zusammengefasst werden:

- vier Parameter, welche den Festkörperanteil des Materials beschreiben:
 - o E-Modul
 - o Dichte
 - o Querkontraktionszahl
 - o Dämpfungsgrad

- drei Parameter, welche das Fluid im Material beschreiben:
 - o Dichte
 - o Schallgeschwindigkeit
 - o Dämpfungsgrad
- neun Parameter, welche das durch die Porosität ausgelöste Verhalten beschreiben:
 - o Porosität
 - o Tortuosität
 - o Biot-Faktor
 - o Strömungswiderstand
 - o dynamische Viskosität
 - o Isentropenexponent
 - o Prandtl-Zahl
 - o viskose charakteristische Länge
 - o thermale charakteristische Länge

Zusätzlich werden für die Berechnung noch folgende Vereinfachungen angenommen:

- bei PEM handelt es sich um isotrope Materialien
- in die Berechnung fließt nur die effektive Porosität mit ein
- Poren, welche in sich geschlossen sind und somit keine Verbindung zur Umgebung haben, werden nicht berücksichtigt
- die Wellenlänge ist wesentlich größer als der Durchmesser der Poren
- es erfolgt die Annahme, dass die Strömung sich nach den Gesetz von Poiseuille verhält

Die Vereinfachungen, besonders jene für die Strömung, betreffen nur den niederfrequenten Bereich, welcher für den Automobilbau relevant ist. Im hochfrequenten Bereich müssen andere Annahmen getroffen werden. Da in unserem Fall der hochfrequente Bereich erst ab ca. 10 kHz beginnt, werden die Vereinfachungen hier nicht weiter betrachtet.

Modellbeschreibung

Als Modell wird die Karosserie eines Toyota Yaris verwendet, welches von der NCAC, der FHWA und der NHTSA entwickelt und im Internet zur freien Verfügung gestellt wurde (3). Für die Berechnung wird die Karosserie auf die eigentliche Fahrzeugplattform reduziert.

Auf die Fahrzeugplattform wird ein Fluid modelliert (siehe Abbildung 2), welches als Abbildung für die Luft im Innenraum dient. Innerhalb des Fluids sind vier Knoten als Mikrofone ausgewiesen, an denen der Schalldruck berechnet wird. Die Mikrofone liegen dabei ca. 1 m oberhalb der Bodenplatte an den vier Sitzpositionen.

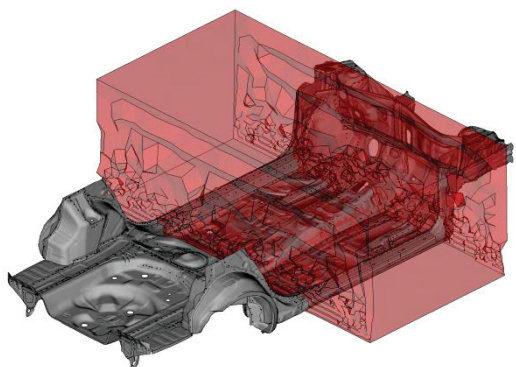


Abbildung 2: Fahrzeugplattform (grau) mit Fluid (rot).

Für die Analyse werden eine Variante mit PEM und eine Variante ohne PEM gerechnet. Dafür werden auf die Fahrzeugplattform Solid-Elemente als Abbildung der PEM-Schicht aufgebracht (siehe Abbildung 3). Die Dicke der Schicht beträgt dabei 4 mm. Diese Elemente werden mit der Plattform und mit dem Fluid gekoppelt, wodurch die PEM-Elemente Schwingungen der Plattform auf das Fluid übertragen können. Die Kopplung wird dabei über die Auswahl der Knoten der PEM-Schicht definiert. In der Variante ohne PEM wird das Fluid direkt mit der Plattform gekoppelt.

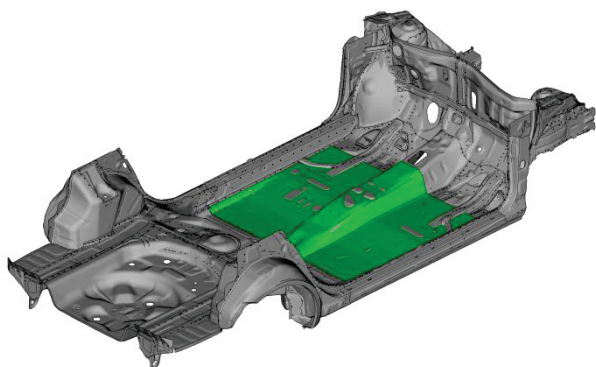


Abbildung 3: Fahrzeugplattform (grau) mit PEM (grün).

Die Fahrzeugplattform wird für die Berechnung mit einer Sinus-Schwingung mit konstanter Kraft-Amplitude angeregt. Die Anregung erfolgt dabei an den vier Dämpferaufnahmen (siehe Abbildung 4) in einen Frequenzspektrum von 1 Hz – 250 Hz in Schritten von 0,5 Hz. Die aus der Anregung resultierenden Schwingungen der Plattform werden durch die Kopplung auf das Fluid übertragen. Hierdurch kann nun der resultierende Schalldruck im Fluid anhand der Verschiebungen der Fluid-Knoten berechnet werden.

Die eigentliche Rechnung erfolgt mit dem Solver NASTRAN. Dabei wird zuerst eine Modalanalyse durchgeführt, welche anschließend als Grundlage für die Berechnung der Schwingungen der Plattform unter Anregung dient.

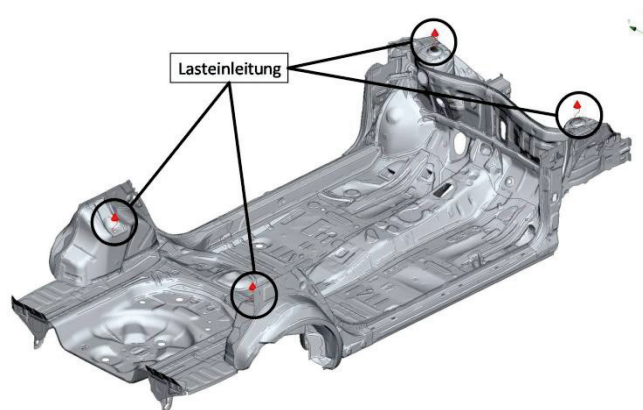


Abbildung 4: Lasteinleitung an den Dämpferaufnahmen.

Ergebnisse

Der Schalldruckpegel wird an den vier Mikrofonpositionen im Fluid berechnet. Anschließend werden die vier Werte zu einem quadratischen Mittelwert zusammengefasst und in Abbildung 5 über der Frequenz dargestellt.

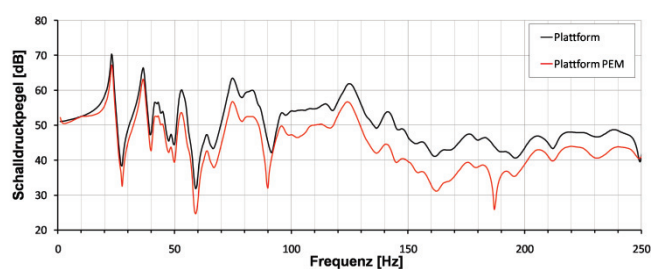


Abbildung 5: Verlauf Schalldruckpegel über Frequenz.

Bis zu einer Frequenz von ca. 10 Hz (untere Grenzfrequenz) haben PEM kaum Einfluss auf den Schalldruckpegel.

Ab ca. 10 Hz reduzieren PEM den Schalldruckpegel, wobei dieser Effekt bei höheren Frequenzen stärker ausfällt und bis zu 10 dB erreicht. Ab ca. 80 Hz (obere Grenzfrequenz) weisen die Kurven zusätzlich einen abweichenden Kurvenverlauf auf (bspw. bei ca. 188 Hz). Hier haben die Masse und Dämpfung von PEM einen höheren Einfluss auf das Schwingverhalten der Plattform als bei niedrigeren Frequenzen.

Bei der Verwendung von PEM ist die Rechenzeit für die Simulation sprunghaft angestiegen, und zwar ca. um den Faktor 4. Allerdings wurde für die Berechnung mit PEM eine Schulungslizenz verwendet, weshalb an dieser Stelle keine allgemeingültige Aussage getroffen werden soll.

Fazit

Unterhalb der unteren Grenzfrequenz, welche abhängig von der Dicke der PEM-Schicht ist, beeinflussen PEM nicht das Ergebnis. Hier kann auf die Berücksichtigung von PEM in der Simulation verzichtet werden.

Oberhalb dieser unteren Grenzfrequenz führen PEM zu einer nahezu konstanten Reduzierung im Schalldruck. Sofern bekannt ist, wie groß diese Reduzierung ausfällt, kann auf

eine komplette Analyse des Frequenzbereiches verzichtet werden. Die Reduzierung kann z.B. durch eine einzelne Rechnung für nur eine Frequenz festgestellt werden.

Im Frequenzbereich oberhalb der oberen Grenzfrequenz beeinflussen Masse und Dämpfung der PEM-Schicht die Schwingungen und somit das Ergebnis. Diese Grenzfrequenz ist abhängig vom Verhältnis Masse PEM zur Masse des Gesamtsystems. Die Reduzierungen im Schalldruck fallen je nach Frequenz unterschiedlich stark aus. Daher ist hier eine Berechnung des Schalldruckes über den gesamten Frequenzbereich notwendig.

Der Modellierungsaufwand für PEM-Schichten ist gering, da einfache Solid-Elemente verwendet werden können. Gleiches gilt für die Kopplung, da hierfür nur Knoten der PEM-Schicht ausgewählt werden müssen.

Literatur

- (1) M.A. Biot: Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid. Shell Development Company, RCA Building, New York, New York, 1955
- (2) N. Lüsing: Akustisch optimierte Eigenschaftsauslegung einer Fahrzeugplattform. Aachen, Dezember 2014
- (3) <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>
This model has been developed by The National Crash Analysis Center (NCAC) of The George Washington University under a contract with the FHWA and NHTSA of the US DOT