Numerische Parameterstudie zur Optimierung der Geräuschdämpfung einer Vollkapselung bei Sicherheitsgurten

Kai-Ulrich Machens[1], Olgierd Zaleski[2], Jens Neumann[1], Marian Markiewicz[2]

[1] *ZF TRW OSS, TRW Automotive GmbH, 73553 Alfdorf, E-Mail: kai-ulrich.machens@zf.com*

[2] *NOVICOS GmbH, 21073 Hamburg, E-Mail: zaleski@novicos.de*

Einleitung

Gurtaufroller nutzen mechanische Trägheitssensoren, um gesetzlich festgelegte Sperreigenschaften einzuhalten. Daher weisen die Bauteile der Sperrseite ein funktionsbedingtes definiertes Spiel auf. Bei Fahrten über Schlechtwegestrecken kann dieses Spiel zu Geräuschen führen, wenn durch die Anregung Klapperschwellwerte überschritten werden (Machens et. al [1]).

Zur Kapselung und Bedämpfung der hierbei entstehenden Störgeräusche werden im Fahrzeug verstärkt Vollkappen aus Polyurethan (PU) eingesetzt, deren Konstruktion über ein Simulationsmodells optimiert werden soll. Platzsparend soll bei geringstmöglichem Materialeinsatz eine effiziente Schalldämmung unter Berücksichtigung notwendiger Durchbrüche in der Kapselung erreicht werden.

Aufbau des Simulationsmodells

Ein Finite Elemente Modell des Gurtaufrollers wird, wie in Abbildung 1 dargestellt, von einer Kappe umgeben und durch Kraftspektren an den Stoßstellen angeregt. Diese Spektren im Frequenzbereich bis 5 kHz werden aus den Zeitverläufen der Stoßkräfte erzeugt, die unter einer typischen Schwingungsanregung des Gurtaufrollers auftreten und vorab über ein Mehrkörpersystem mit flexiblen Körpern berechnet wurden. Die den Gurtaufroller umgebende Vollkappe wird als Fluid modelliert, das in Geometrie, Dichte und komplexer Wellenausbreitungsgeschwindigkeit dem gewählten Kappenschaum entspricht.

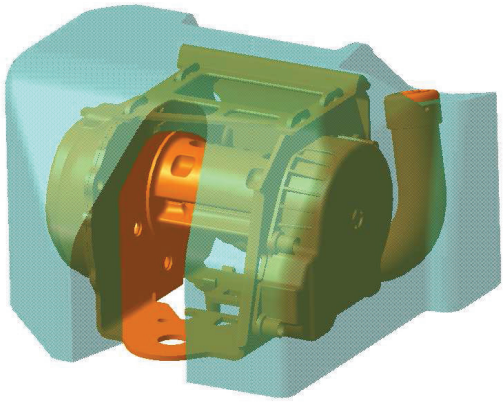

Abbildung 1: Der Gurtaufroller (ohne Gurtband) wird von der PU-Referenzkappe eng umschlossen und schwingungstechnisch als Finite Elemente Modell abgebildet.

Die umgebende Luft wird zur Reduzierung der Rechenzeit nur in einem Teilbereich in Form einer facettierten Pyramide als Fluid modelliert. Die Oberfläche dieser Pyramide stellt über ein Automatically Matched Layer (AML), wie von de Koenig et al. [2] beschrieben, die Abstrahlungsrandbedingung ins umgebende Freifeld sicher. Die Grundfläche dieser Knickpyramide liegt in der Ebene der Anschraubfläche des Gurtaufrollers und ist als eine ideal reflektierende Fläche mit Normalenschnelle Null modelliert. Der Schalldruck an jedem beliebigem Punkt außerhalb des modellierten Volumens wird dann durch Lösung des Kirchhoff-Helmholtz-Integrals auf der Oberfläche der facettierten Pyramide berechnet.

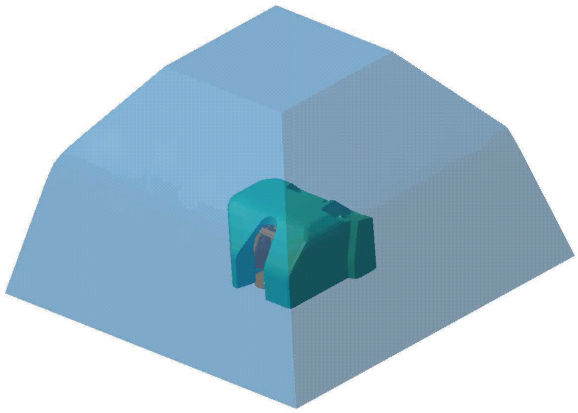

Abbildung 2: Um die Kappe herum ist ein Luftvolumen in Form einer facettierten Pyramide als Fluid modelliert, auf deren Oberfläche durch ein AML-Element die Ausstrahlungsrandbedingung sichergestellt wird.

Schallleistungpegel der Ausgangskappe

Zur Beurteilung der Kapselwirkung wird der Gurtaufroller mit und ohne Vollkappe durch die vorab erzeugten Kraftspektren angeregt. Die spektrale Schallleistung ergibt sich mittels Berechnung des spektralen Leistungsflusses durch eine Halbkugel im Fernfeld. Durch energierichtige Summation von ca. 11 logarithmisch skalierten Frequenzstützstellen pro Terz werden Terzspektren erzeugt. Zur besseren Lesbarkeit der Graphen werden deren Terzmittelwerte durch quadratische Interpolation verbunden.

Als Referenzkappe mit guter akustischer Wirkung wurde eine PU Kappe mit Wandstärke d=15 mm, Kompressionsmodul K=90 kPa, Dichte ρ=170 kg/m³ und 10 % Materialdämpfung gewählt. Die Geometrie dieser Kappe ist in Abbildung 3, und das berechnete Schalleistungsterzspektrum in Abbildung 4 dargestellt.

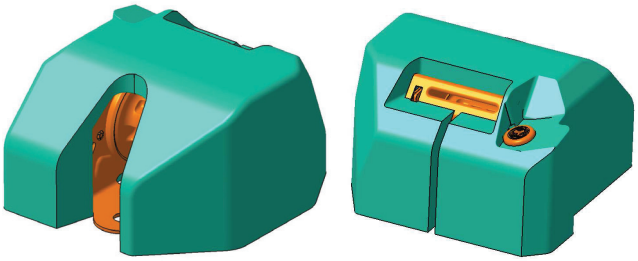

Abbildung 3: PU-Referenzkappe mit Wandstärke von 15 mm. Die Anschrauböffnung ist im linken Bild, der Gurtbandauslass und der Montagespalt sind im rechten Bild wiedergegeben.

Die ausgeprägte Welligkeit des Schallleistungsspektrums ohne Kappe korreliert auffallend mit der Quadratsumme der Oberflächenschnelle (gestrichelte Linie). Das weist auf Resonanzüberhöhungen des Gurtaufrollers als deren Ursache hin. Hierbei ist fast ausschließlich die Sperrseite des Gurtaufrollers aktiv, die die spielbehafteten Bauteile enthält. Abbildung 4 zeigt, dass die Referenzkappe die Schallleistung um 5-25 dB, und nach Verschluss sämtlicher Öffnungen in der Kappe um weitere 20 dB vermindert. Die Verwendung der Kappe reduziert zudem die Welligkeit des Spektrums, was vermutlich auf die Bedämpfung der Resonanzen durch die Kappe zurückgeht.

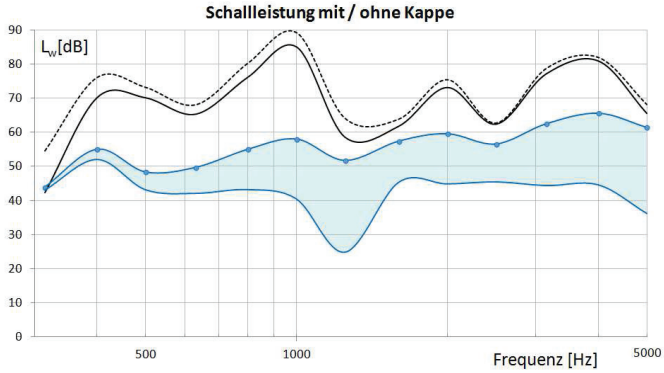

Abbildung 4: Schallleistungspektrum L_W des Gurtaufrollers ohne (schwarze Linie) und mit Referenzkappe (hellblaue Linie mit Punkten) sowie Referenzkappe mit verschlossenen Öffnungen (hellblaue Linie). Die ausgeprägte Welligkeit des Terzspektrums ohne Kappe korreliert mit der Quadratsumme der Oberflächenschnelle des Gurtaufrollers (gestrichelte Linie).

Einfluss Öffnungen auf Einfügungsdämmmaß

Das Einfügungsdämmmaß D_W einer Kappe ist die Differenz des von einer Schallquelle abgestrahlten Schallleistungspegels ohne und mit Kapselung. Dieses ist in Abbildung 5 für verschiede Varianten dargestellt. Erwartungsgemäß liegen die Schalldämmmaße mit verschlossener Anschrauböffnung bzw. verschlossener Anschraub- und Montageöffnung zwischen den in Abbildung 3 gezeigten Varianten mit und ohne Öffnung. Zusätzlich wurde eine offene Referenzkappe mit 3mm großem Luftspalt über der stark schwingenden Sperrseite des Gurtaufrollers modelliert, deren Querschnitt im Vergleich zur Referenzkappe in Abbildung 6 abgebildet ist. Da deren Einfügungsdämmmaß deutlich kleiner ist als das der nur um 2 g schwereren kontaktierenden Referenzkappe, erscheint eine Bedämpfung der Struktur durch die enganliegende Zusatzmasse der Kappe wahrscheinlich.

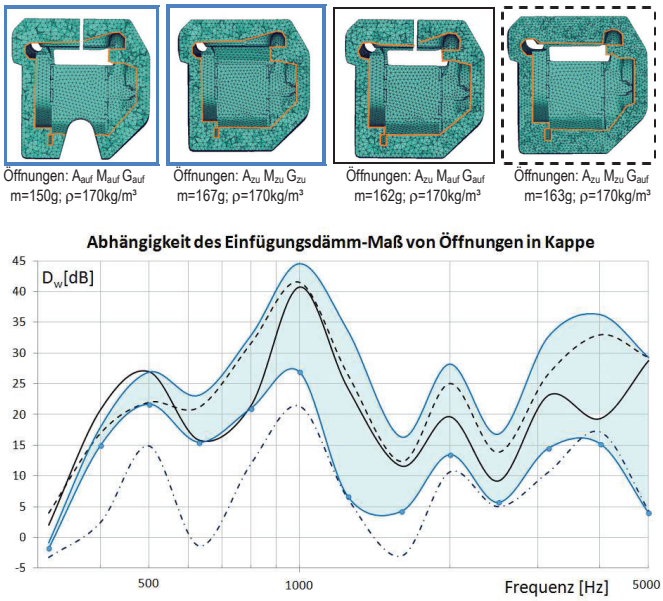

Abbildung 5: Einfügungsdämmmaß der Referenzkappe mit 15 mm Wandstärke. Der blaue Bereich zeigt den Unterschied zwischen einer Kappe mit verschlossenen (hellblaue Linie) und offenen Öffnungen (hellblaue Linie mit Punkten). Dazwischen befinden sich die Dämmmaße mit verschlossener Anschrauböffnung (schwarze durchgezogene Linie) und zusätzlich geschlossener Montageöffnung (schwarze gestrichelte Linie). Die offene Kappe mit 3mm Spalt über der Sperrseiten-Schale (blaue strichpunktierte Linie) zeigt eine deutlich verminderte Schalldämmung.

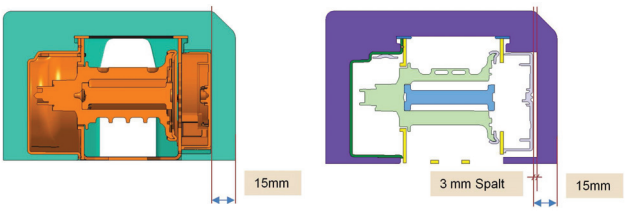

Abbildung 6: Die PU-Referenzkappe weist direkt über der Sperrseite eine Wandstärke von 15 mm auf und berührt diese vollflächig (linkes Bild). Als Variante wurde ein 3 mm großer Luftspalt über der stark schwingenden Sperrseite eingebracht (rechtes Bild).

Einfluss Wandstärke und Kompressionsmodul

In Abbildung 7 wird die Einfügungsdämmung einer Referenzkappe mit 15 mm Wandstärke der Dämmung einer 5 mm starken Kappe mit aufgrund der gewählten höheren Materialdichte gleicher Gesamtmasse (gestrichelte Linie) gegenübergestellt. Bei diesen beiden Varianten ist die Anschrauböffnung verschlossen. Trotz reduzierten Kappen-

volumens resultiert daraus eine vergleichbare Schalldämmung. Die Vergrößerung des Kompressionsmoduls von 90 kPa auf 250 kPa, welches einer höheren Shore-Härte des Polyurethans entspricht, verschlechtert die Schalldämmung (gestrichelte Linie mit Punkten). In welchem Maße die Schalldämmung von der Gesamtmasse der Kappe abhängt ist in Abbildung 8 für die 5 mm Kappe mit verschlossener Anschrauböffnung dargestellt. Eine Reduzierung der Materialdichte von 415 kg/m³ auf 170 kg/m³ ergibt hier eine Verringerung der Schalldämmung um ca. 5 dB.

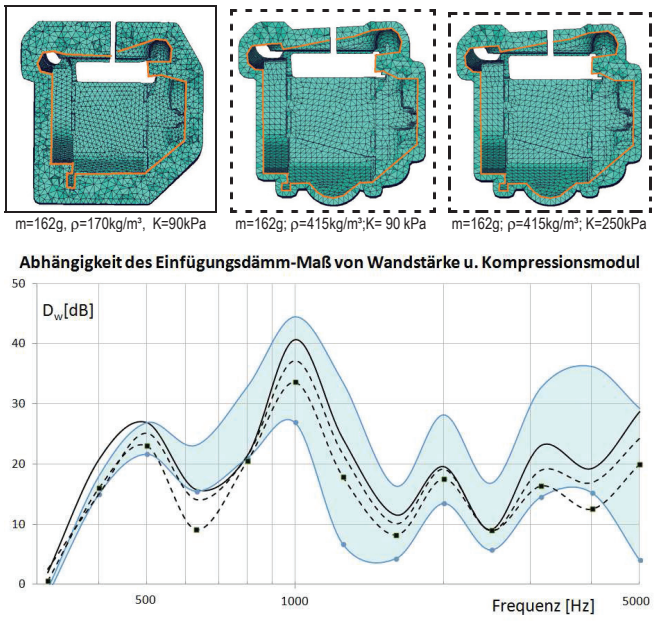

Abbildung 7: Vergleichbare Einfügungsdämmung einer 5 mm starken Kappe (gestrichelte Linie) mit höherer Dichte und der 15 mm starken Referenzkappe gleicher Gesamtmasse (durchgezogene Linie), beide mit verschlossener Anschrauböffnung. Die Erhöhung des Kompressionsmoduls auf 250 kPa (gestrichelte Linie mit Punkten) bewirkt eine Herabsetzung der Schalldämmung.

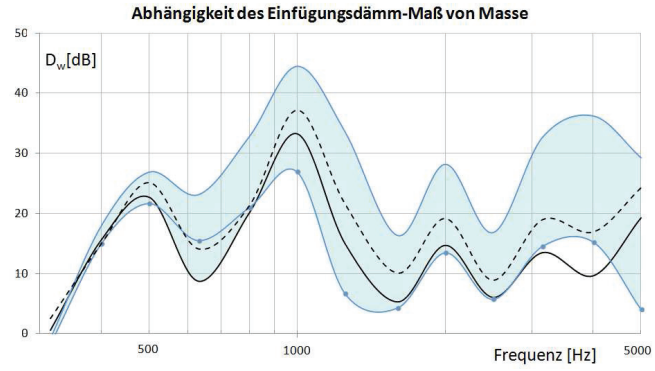

Abbildung 8: Die Einfügungsdämmung hängt von der Gesamtmasse ab. Die 162 g schwere Kappe mit Dichte 415 kg/m³ (gestrichelte Linie) und geschlossener Anschrauböffnung weißt über dem gesamten berechneten Frequenzbereich eine um ca. 5 dB höher Schalldämmung auf als eine geometrisch identische Kappe mit einer niedrigeren Dichte von 170 kg/m³, die nur 62 g wiegt (durchgezogene Linie).

Zusammenfassung

Die Wirkung von Schallschutzkappen ergibt sich aus einer Kombination von Bedämpfung der schwingenden elastischen Strukturen durch die angekoppelte Kappenmassen und deren Strukturdämpfung sowie deren Schalldämmung durch eine möglichst geschlossene Oberfläche. Abgeleitete Empfehlungen zur Verbesserung der Schalldämmung sind:

1.) Möglichst schwere Ausführung der Kappe, nicht notwendigerweise in dicker Wandstärke.

2.) Kappeninnenseite berührt die elastischen Bauteilen

3.) Möglichst geschlossene Ausführung der Kappe mit kleinen Öffnungen

4.) Wahl eines möglichst niedrigen Kompressionsmodul (Shore-Härte) des Kappenmaterials

Trotz der hier dargestellten plausiblen Heuristik lohnt sich die Durchführung einer Optimierung über ein Rechenmodell für die jeweils konkret untersuchte Struktur. Nur so ist ein Optimum an akustischer Wirksamkeit und Funktionalität (Montagefreundlichkeit, Handhabung, und Herstellbarkeit) bei minimalem Gewicht und Bauraum kostengünstig zu erzielen. Ergebnisse und Methodik der hier exemplarisch gezeigten Modellierung sind prinzipiell auf andere Anwendungen übertragbar, bei denen schallabstrahlende Bauteile zusätzlich zur klassischen Luftschalldämmung durch eine Kapselung bedämpft werden.

Literatur

[1] Machens K.-U.,Weisgerber I., Geräuschbeurteilung Sicherheitsgurte: Klappern auf dem Prüfstand, Fortschritte der Akustik DAGA'10 [2010], pp. 435-436

[2] De Langhe K., Vansant K., Hallez R., Beriot H., Advanced simulation techniques for vehicle acoustic panal loading predictions, including FEM AML and Fast Multipole BEM (FMBEM), Inter-noise 2011, ISBN: 978-1-61839-280-0, pp 789-802

März 2016 © ZF Friedrichshafen AG reserves all rights even in the event of industrial property rights. We reserve all rights of disposal such as copying and passing on to third parties.