Untersuchungen zur Schallpegelreduktion des Reifen-Fahrbahngeräuschs durch absorbierende KFZ-Unterbodenverkleidungen mittels Transferpfadanalyse

Klaus Pfaffelhuber[1] und Michael Scheinhardt[2]

[1] *Autoneum Switzerland AG, E-Mail: klaus.pfaffelhuber@autoneum.com*
[2] *Autoneum Germany GmbH, E-Mail: michael.scheinhardt@ autoneum.com*

Einleitung

Seit der Einführung der ECE-Norm R51.03 zur Messung der Geräuschemission bei der Fahrzeugvorbeifahrt und der damit verbundenen Konstantfahrtmessung trägt das Reifen-Fahrbahngeräusch maßgeblich zum ermittelten Gesamtpegel bei. Mit der Verschärfung der Grenzwerte in den nächsten Jahren sind insbesondere bei Fahrzeugen mit großen Reifen technische Lösungen zur weiteren Pegelreduktion nötig. Schallabsorbierende Unterbodenverkleidungen können hierbei einen maßgeblichen Beitrag leisten.

Schallabsorbierende Unterbodenverkleidungen bestehen in der Regel aus ein- oder mehrschichtigen thermoplastisch gebundenen Faservliesen, welche in einem Thermoformprozess zu Bauteilen verarbeitet werden. Übliche Materialstärken des Endprodukts betragen 4 bis 6 mm wobei Randbereiche und die Befestigungspunkte aus Festigkeitsgründen kompakt verpresst sind. Aufgrund ihrer porösen Bauweise sind diese Bauteile fahrzeug- und straßenseitig absorbierend. Letzteres führt zu einer erheblichen Minderung des Innen- und Außengeräuschs [1][2][3].

Ziel dieser Studie war es, bei einem Mittelklassefahrzeug das Potenzial der Pegelreduktion zu ermitteln. Hierzu wurden Transferpfadanalysen zwischen Reifen-Fahrbahn Kontaktflächen und dem Vorbeifahrtmikrofon bei verschiedenen Fahrzeugpositionen durchgeführt. Es kam eine inverse Transferpfadanalyse zum Einsatz, die Quell- und Mikrofonposition waren also vertauscht.

Messdurchführung

Die Messungen wurden in einem Halbfreifeldraum durchgeführt. Abb. 1 zeigt schematisch die Anordnung der Schallquelle an den verschiedenen Positionen in 7,5 m Abstand zur Fahrzeugmitte und 1,2 m Höhe. Die Quelle war an acht verschiedenen Winkeln zum Fahrzeug positioniert um verschiedene Fahrzeugpositionen zu erfassen. Im Folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse der Positionen eins, drei und acht gezeigt, welche repräsentativ für die anderen Messpositionen stehen.

Angeregt wurde mit weißem Rauschen. Die Mikrofone waren in den Luftkeilen zwischen den Reifen und dem Boden des Prüfstands jeweils vor und hinter der Reifenaufstandsfläche angebracht (Abb.2).

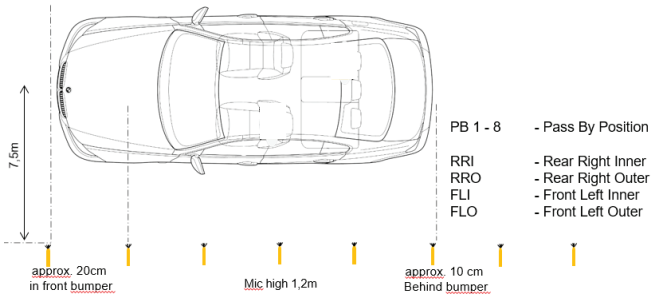

Abbildung 1: Positionen der verwendeten Schallquellen

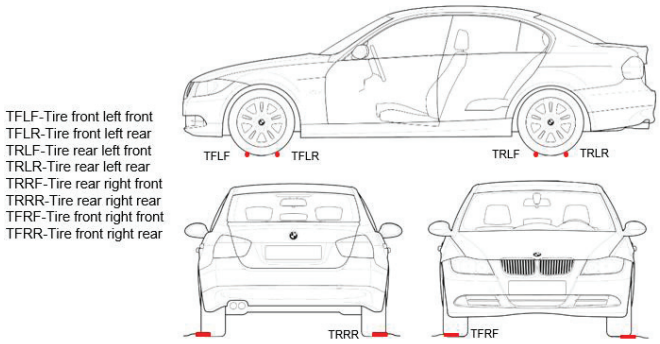

Abbildung 2: Positionen der verwendeten Mikrofone

Absorbierender Unterboden

Bei dem untersuchten Fahrzeug wurde ausgehend von der schon vorhandenen, absorbierenden Serienausstattung die Schallabsorption stufenweise erhöht. (Abb. 3). Dies erfolgte zum einen durch Einbringen von zusätzlichem, die Absorption steigerndem Material im Zwischenraum zwischen Unterbodenverkleidung und Fahrzeug (Unterboden 2 zu Unterboden 1) zum anderen durch Erweiterung der absorbierenden Fläche mittels Austausch der schallharten Unterbodenverkleidungen durch absorbierende Komponenten. Auch hierbei wurde der vorhandene Raum zwischen Fahrzeug und Unterbodenverkleidung genutzt um die Schallabsorption zu maximieren. Während in Unterbodenverkleidung 3 vor allem der Bereich zwischen den Achsen mit absorbierenden Bauteilen erweitert wurde, wurden bei Unterboden 4 schließlich noch die Flächen vor und hinter den Achsen schallabsorbierend gestaltet.

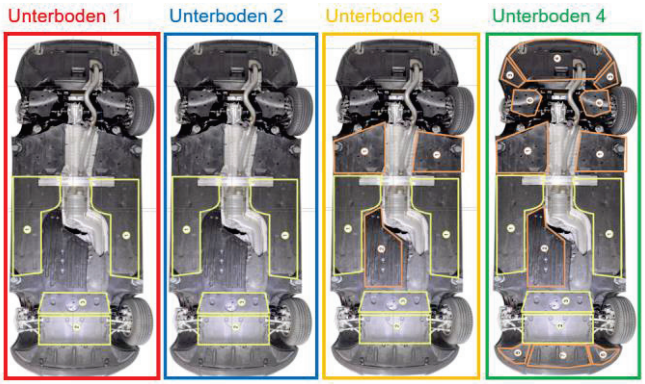

Abbildung 3: Flächenbelegung mit absorbierenden Unterbodenverkleidungen

Abbildung 4 zeigt die Gesamtabsorption der verschiedenen Unterbodenkonfigurationen, gemessen in der Alpha Kabine. Die Absorptionssteigerung zwischen den flächengleichen Unterböden 1 und 2 durch das zusätzliche Material (je nach Bauraum zwischen 5 mm und 30 mm) resultierte in einer Verbesserung der Schallabsorption vor allem im unteren und mittleren Frequenzbereich. Zu einer erheblichen Steigerung des Gesamtabsorptionsgrades führten schließlich die Flächenerweiterungen bei Unterboden 3 und 4. Bei letzterem erreicht die äquivalente Absorptionsfläche Werte von ca. 4 m^2 im Frequenzbereich oberhalb 1 kHz.

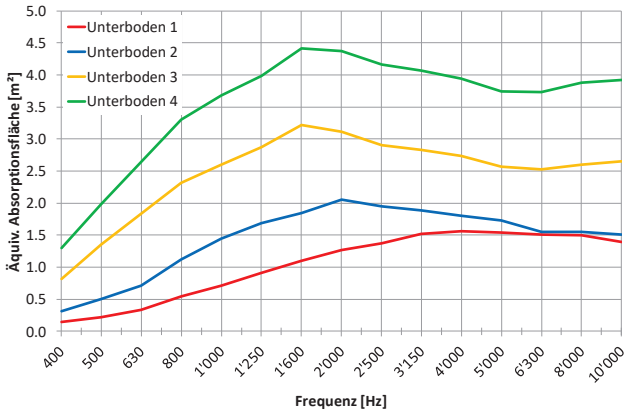

Abbildung 4: Schallabsorption der untersuchten Unterbodenverkleidungen, gemessen in der Alpha Kabine

Messergebnisse

Im Folgenden sind die Schallpegelminderungen der Unterböden 2 bis 4 jeweils bezogen auf den Ausgangszustand des Fahrzeugs mit Unterbodens 1 dargestellt. Bei einer Verbesserung gegenüber Unterboden 1 ist der Bereich zwischen den Kurven grün ausgefüllt, ansonsten rot. Angeregt war hierbei bei der vordersten (PB1, Abbn.5,6,7), einer mittleren (PB3, Abbn.8,9,10) und der hintersten Quellposition (PB8, Abbn.11,12,13).

Die Absorptionssteigerung führt bei diesen drei Quellpositionen zu einer deutlichen Verminderung des Schallpegels, insbesondere im Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 1500 Hz. Maximal ergibt sich hier bei Unterbodenverkleidung 4 eine Schallpegelreduktion von bis zu 2 dB. Bei den Transferpfaden der Quellpositionen PB01 und PB03 waren keine nennenswerten Veränderungen im Bereich von 1500 Hz bis 2500 Hz festzustellen, von 2500 Hz bis 3500 Hz hingegen zeigten sich weitere Verbesserungen. Bei der mittleren Quellposition PB03 ergab sich sogar eine leichte Verschlechterung im Frequenzbereich oberhalb 3500 Hz. Die Anregung an der Quellposition PB08 führte hingegen zu einer Verbesserung im gesamten Frequenzbereich.

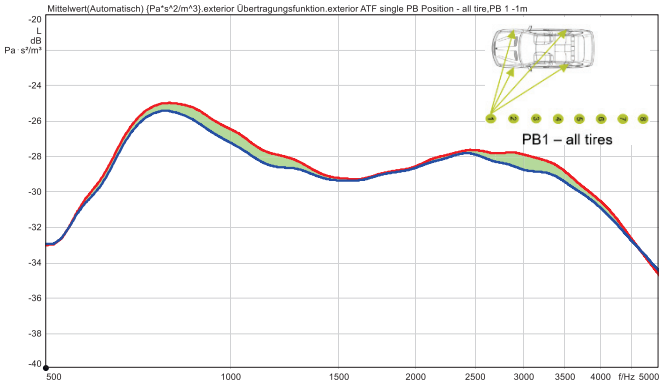

Abbildung 5: Pegelminderung Unterboden 2 (blau) zu Unterboden 1 (rot) mit Anregungsposition PB01

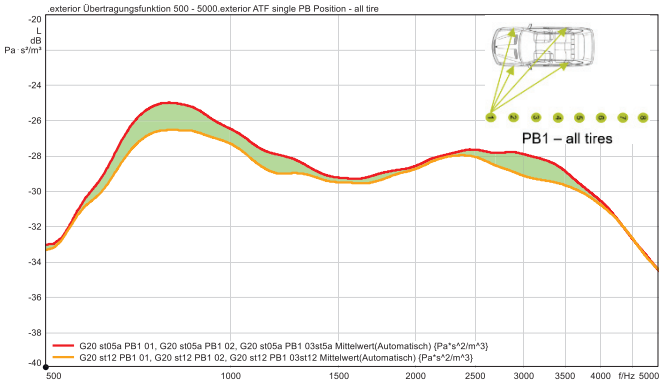

Abbildung 6: Pegelminderung Unterboden 3 (orange) zu Unterboden 1 (rot) mit Anregungsposition PB01

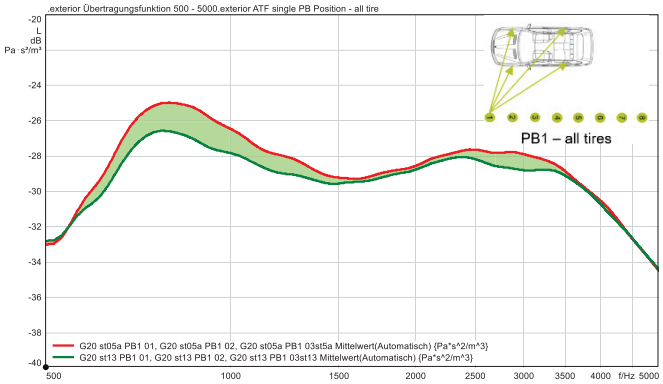

Abbildung 7: Pegelminderung Unterboden 4 (grün) zu Unterboden 1 (rot) mit Anregungsposition PB01

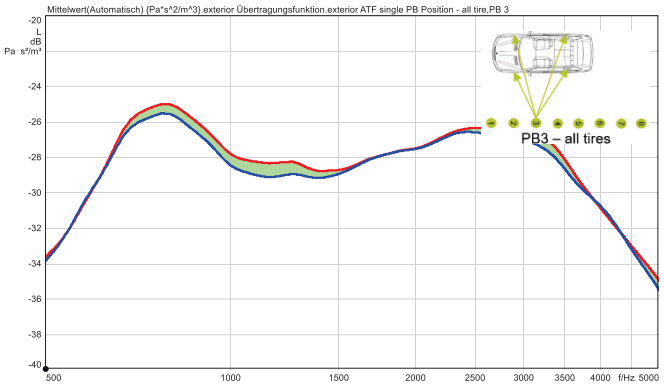

Abbildung 8: Pegelminderung Unterboden 2 (blau) zu Unterboden 1 (rot) mit Anregungsposition PB03

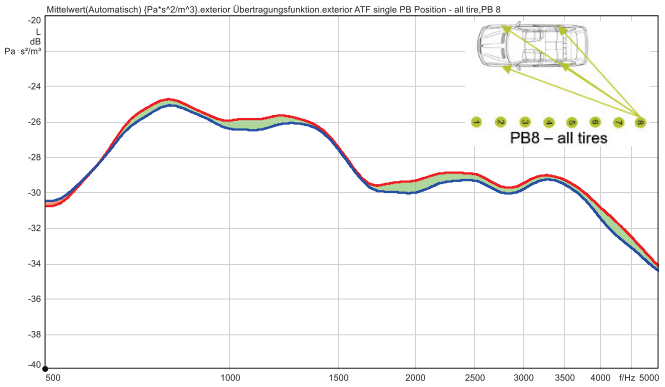

Abbildung 11: Pegelminderung Unterboden 2 (blau) zu Unterboden 1 (rot) mit Anregungsposition PB08

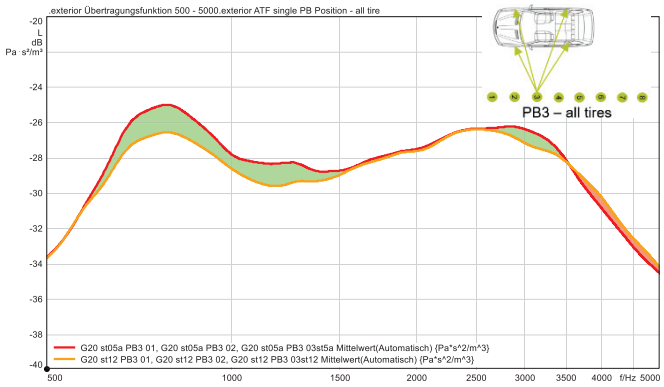

Abbildung 9: Pegelminderung Unterboden 3 (orange) zu Unterboden 1 (rot) mit Anregungsposition PB03

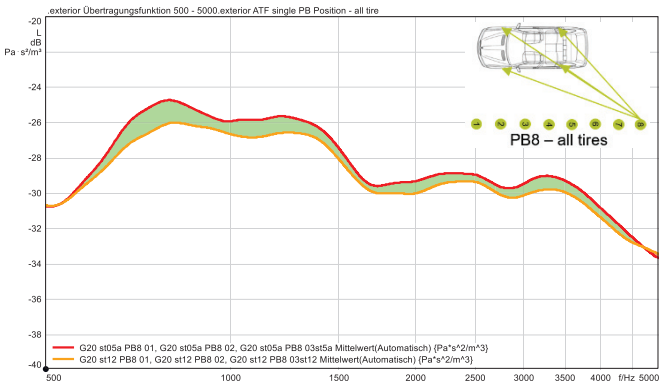

Abbildung 12: Pegelminderung Unterboden 3 (orange) zu Unterboden 1 (rot) mit Anregungsposition PB08

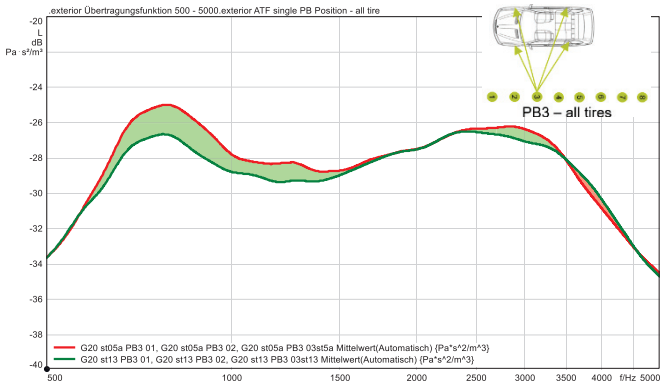

Abbildung 10: Pegelminderung Unterboden 4 (grün) zu Unterboden 1 (rot) mit Anregungsposition PB03

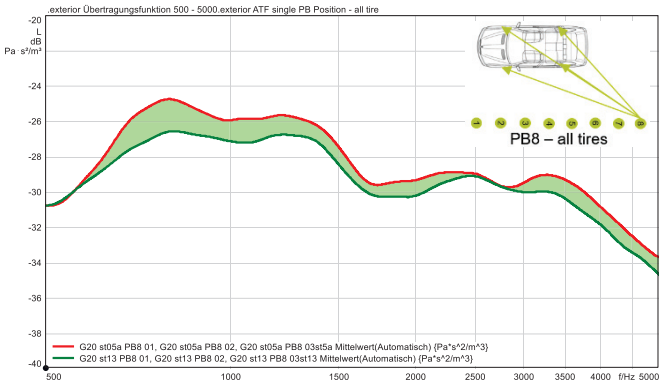

Abbildung 13: Pegelminderung Unterboden 4 (grün) zu Unterboden 1 (rot) mit Anregungsposition PB08

Zur Veranschaulichung der dominierenden Transferpfade für die Gesamtpegelminderung wurden im Folgenden die Pfade von der Quelle zu den einzelnen Mikrofonen jeweils getrennt analysiert (Abbildungen 15 bis 17). Hierbei sind die Diagramme jeweils gemäß der Zuordnung der Transferpfade zu den jeweiligen Reifenmikrofonpositionen angeordnet (siehe Abb. 14). Die oberen Diagrammreihen repräsentieren die von der Quelle abgewandten Reifen, die untere Diagrammreihe die der Quelle zugewandten Reifen. Links sind die Transferpfad-Amplitudenfrequenzgänge der Vorderreifen, rechts die der Hinterreifen dargestellt. In den Diagrammen sind jeweils die Schallpegelfrequenzgänge für die Unterböden 1 und 4 dargestellt.

Wie zu erwarten, ergibt sich die höchste Schallpegelminderung an der der Schallquelle abgewandten Fahrzeugseite. Bei diesen Pfaden liegt der absorbierende Unterboden im Schallausbreitungsweg. Die Pegelunterschiede zwischen Unterboden 1 und Unterboden 4 betragen dabei im Mittel etwa 4 dB. Aber auch die der Schallquelle zugewandten Reifen zeigen eine Schallpegelminderung. von bis zu 2 dB, insbesondere im unteren Frequenzbereich zwischen 500 und 1500 Hz. Selbst

bei diesen Reifen wird der Schallpegel vermindert, obwohl die Unterbodenstrecke bei diesen Transferpfaden gar nicht im Ausbreitungsweg liegt.

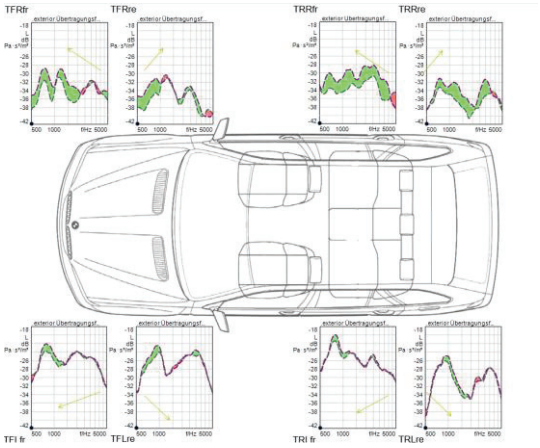

Abbildung 14: Zuordnung der Transferpfade der einzelnen Radmikrofone zu den Quellpositionen

Bezüglich der absoluten Schallpegelniveaus dominieren erwartungsgemäß die der Quelle zugewandten Reifen. Da die abgewandten Reifen durch die deutliche Absorptionswirkung des Unterbodens offenbar keinen nennenswerten Beitrag mehr zum Gesamtpegel leisten, ist die Verbesserung zwischen Unterboden 1 und Unterboden 4 weitgehend bestimmt von der Pegeldifferenz der Transferpfade der zugewandten Reifen.

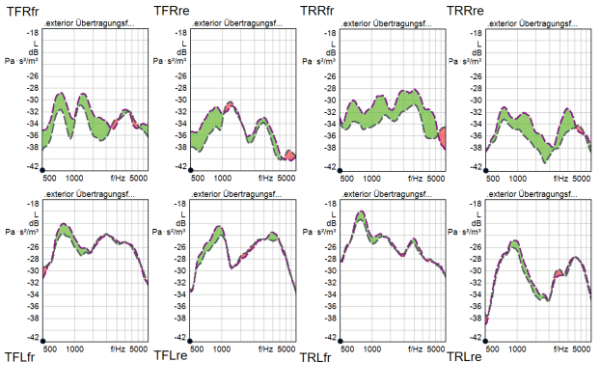

Abbildung 15: Transferpfade der einzelnen Radmikrofone zu der Quellposition PB01

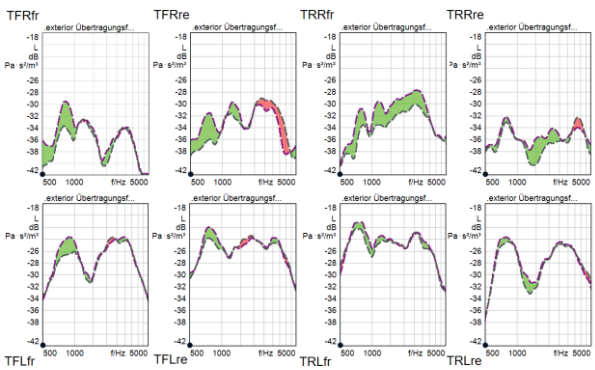

Abbildung 16: Transferpfade der einzelnen Radmikrofone zu der Quellposition PB03

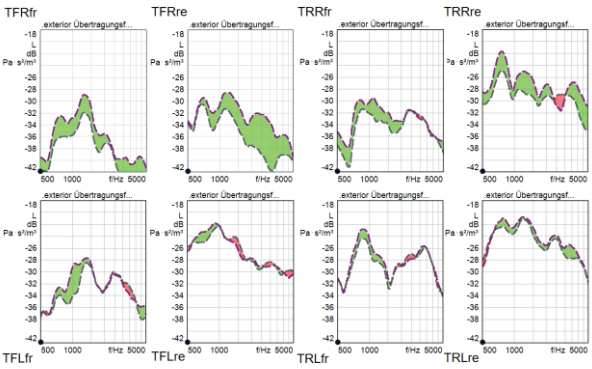

Abbildung 17: Transferpfade der einzelnen Radmikrofone zu der Quellposition PB08

Zusammenfassung

An einem Mittelklasse Pkw, der mit straßenseitig absorbierenden Unterbodenverkleidungen ausgestatteten war, wurden inverse Transferpfadanalysen zwischen den Reifen-Fahrbahn-Kontaktflächen und dem Vorbeifahrtmikrofon durchgeführt. Dabei wurden die Winkel zwischen Fahrzeug und Mikrofon variiert um verschiedene Fahrzeugpositionen während der Vorbeifahrt zu simulieren. Es kamen neben der absorbierenden Serienverkleidung unter Fahrer, Beifahrer und Getriebe eine flächengleiche Verkleidung mit erhöhtem Absorptionsgrad, sowie zwei Verkleidungen mit erweiterter Flächenbelegung zum Einsatz.
Während schon die Steigerung der Absorption der Serienverkleidung eine Verbesserung von etwa 0,5 - 1 dB zur Folge hatte, ergab sich bei einer vollflächigen Verkleidungsanordnung ein Potential von 2 dB.
Die Analyse der einzelnen Transferpfade von den Reifen-Fahrbahn- Kontaktflächen-Mikrofonen zu der Schallquelle zeigte eine deutliche Wirksamkeit des absorbierenden Unterbodens. Bei den der Quelle abgewandten Reifen erreicht man Pegelminderungen um die 4 dB. Aber auch die der Quelle zugewandten Reifen profitieren mit einer Verbesserung von ca. 2 dB.

Literatur

[1] Uhl, F., Pfaffelhuber, K.: Akustisch wirksame Unterbodenverkleidungen: Außen- und Innengeräusch In: Fortschritte der Akustik (DAGA'06) Oldenburg 2006.

[2] K.Pfaffelhuber, F.Uhl, C.Riewe: Tyre/Road Noise Reduction at Trucks and Vans with LWRT Underbody Panels In: Fortschritte der Akustik (DAGA'13) Meran 2013

[3] K.Pfaffelhuber: Fundamental Mechanisms of the Noise Reduction of Sound Absorbing LWRT Underbody Panels In: Fortschritte der Akustik (DAGA'16) Aachen 2016