Rollinnengeräusch: Experimentelle Untersuchungen zu den Schallpfadverhältnissen

F. Uhl, C. Riewe
Röchling Automotive SE & Co. KG

Einleitung

Dem Rollinnengeräusch kommt aufgrund des hohen Potentials an Lästigkeit und der unerwünschten Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit in der Fahrzeugakustik eine besondere Rolle zu [1]. Dies gilt insbesondere für akustische Lastfälle, bei denen maskierende Effekte seitens Motor- oder Umströmungsgeräuschen nur gering ausfallen, oder gar nahezu völlig fehlen wie bei Elektrofahrzeugen.

Neben der in der Regel auf das Rollaussengeräusch fokussierten Optimierung der Vorgänge im Reifen/Fahrbahn-Kontakt und des Abstrahlverhaltens des Reifens selbst, ist die Kenntnis der Pfade von Bedeutung über die das Rollgeräusch den Innenraum erreicht.

Mit Fokus auf die Beiträge des Unterbodens sowie der Fahrzeug-Seitenflächen wurden an einem Tesla S, einer Mercedes S-Klasse und einem BMW 3er hierzu experimentelle Untersuchungen durchgeführt, bei denen unter anderem ein neuartiges Struktur-Leichtbaumaterial im Bereich Unterboden eingesetzt wurde.

Versuche Tesla Model S

Im Semifreifeldraum wurden zunächst grundlegende Zusammenhänge untersucht, indem mit Ziel eines quasi vollgedämmten Zustands die gesamte Oberfläche des Fahrzeugs mit einem viskoelastischen, hochabsorbierenden Schaum und dieser wiederum mit einer Schwerfolie (Flächengewicht 10 kg / m²) abgedeckt wurde (Abb. 1).

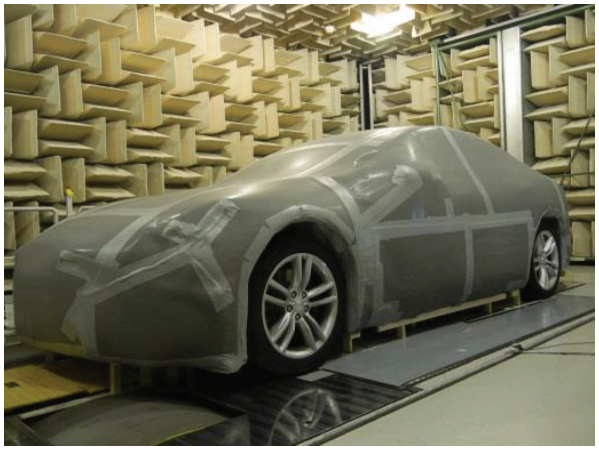

Abbildung 1: Tesla S Vollkapselung

Ausgehend von diesem Zustand wurde die Zusatzdämmung schrittweise geöffnet in den Bereichen Seitenscheiben, Frontscheiben, Seitentüren, Restflächen oberes Fahrzeug und zuletzt Unterboden mit Radhausverkleidungen. Die Entfernung der Kapselung des Unterbodens führte dann entsprechend zur Wiederherstellung des serienmässigen Zustands.

Nachstehende Abbildung zeigt die Teilöffnung der Kapselung exemplarisch für die Bereiche Seiten- und Frontscheibe.

Abbildung 2: Tesla S Kapselung, geöffneter Bereich der Fenster

In allen Bauzuständen wurde mittels einer Punktschallquelle im Vorderradaus- und Hinterradauslauf breitbandig angeregt, und an mehreren Positionen im Innenraum die Luftschallspektren gemessen.

Abbildung 3: Tesla S Position der Punktschallquelle

Die Ergebnisse zeigen einen bedeutenden Anteil des Unterbodens, bei erheblichem Einfluss der Seitenscheiben und -türen.

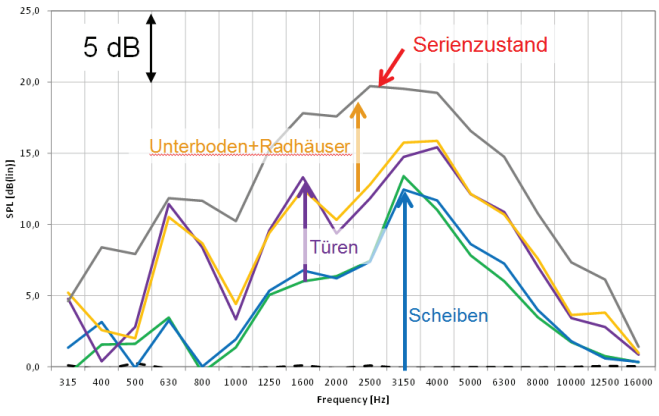

Abbildung 4: Tesla S Differenzpegel zur Vollkapselung, (Quellposition Vorderrad Auslauf, Messpunkt Fahrerohr innen)

Um den jeweils einzelnen Beitrag des Unterbodens und der Radhausverkleidungen zu ermitteln, wurden diese Bereiche ausgehend von der Vollkapselung jeweils nochmals separat geöffnet und Messungen durchgeführt.

Die Ergebnisse identifizieren die Radhäuser als einen dominierenden Pfad im Bereich 1-1,25 kHz, der für das Rollinnengeräusch in der Regel eine besondere Wichtigkeit besitzt.

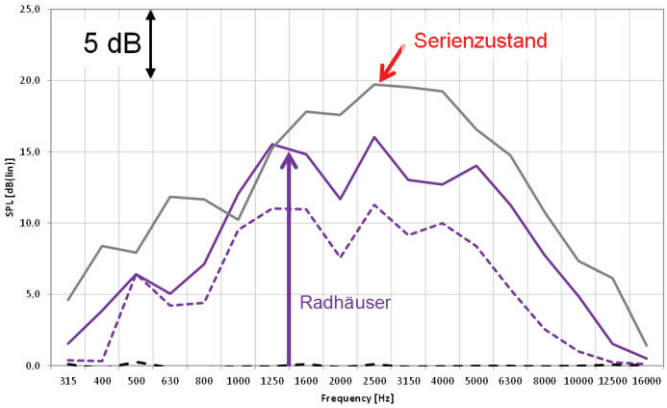

Abbildung 5: Tesla S Differenzpegel zur Vollkapselung bei geöffneter Kapselung der Radhäuser (Quellposition Vorderrad Auslauf, Messpunkt Fahrerohr innen)

Neben der Öffnung der Kapselung im Bereich Unterboden wurde dieser in einer Variante mit einem LWRT-Material verkleidet (Seeberlite™: Produkt Röchling Automotive), welches insbesondere im oberen Frequenzbereich eine hohe Absorption bereitstellt.

Die Ergebnisse weisen für den Unterboden, trotz der bei diesem Fahrzeug flächig in der Bodengruppe positionierten Fahrbatterie, eine nicht vernachlässigbare Bedeutung aus. Insbesondere zeigt eine absorptive Ausstattung des Unterbodens deutlich einen positiven Effekt.

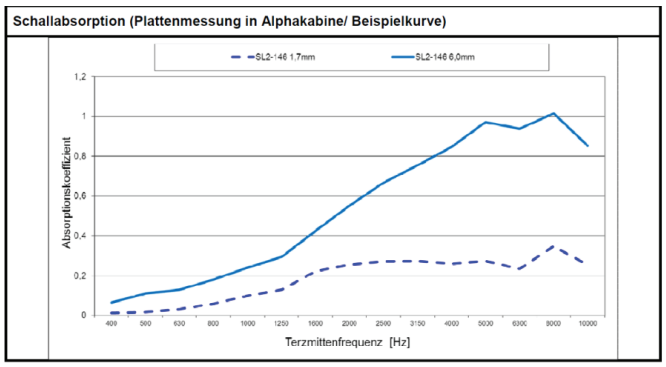

Abbildung 6: Absorption LWRT-Material in der Alphakabine, Messung an Plattenware ohne Wandabstand

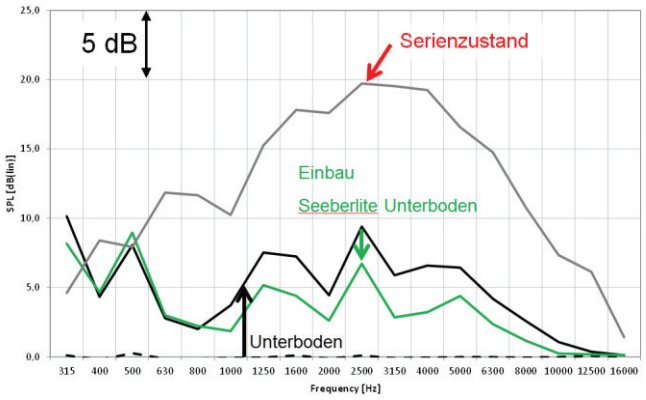

Abbildung 7: Tesla S, Differenzpegel zur Vollkapselung bei geöffneter Kapselung des Unterbodens bzw. dessen absorptiver Ausstattung (Quellposition Vorderrad Auslauf, Messpunkt Fahrerohr innen)

Im Anschluss an die Untersuchungen im Prüfstand wurden mit dem Tesla Model S Messungen auf der Teststrecke durchgeführt (ISO-Asphalt, Konstantfahrt 40 km/h). Hierbei wurde eine breitbandige Verbesserung der Terzpegel um bis zu 2,5 dB bei absorptiver Verkleidung des Unterbodens mit Seeberlite™ festgestellt (Abb. 8).

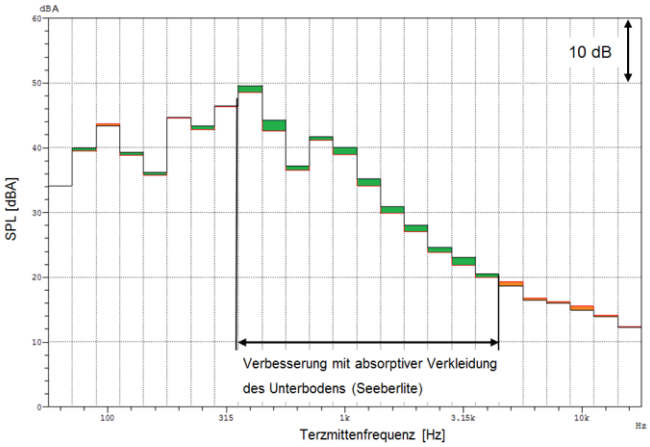

Abbildung 8: Tesla S Konstantfahrt 40 km/h mit / ohne absorptiver Ausstattung des Unterbodens, Messpunkt Fahrerohr innen

Versuche Mercedes S-Klasse

Analog zu den Messungen am Tesla Model S wurden Untersuchungen an einer Mercedes S-Klasse durchgeführt. Die Zusammenhänge stellten sich hierbei qualitativ sehr ähnlich dar. Neben einem erheblichen Schalleintrag über die Seitenfenster und –türen besitzt der Unterboden bzw. dessen absorptive Ausstattung eine herausragende Bedeutung.

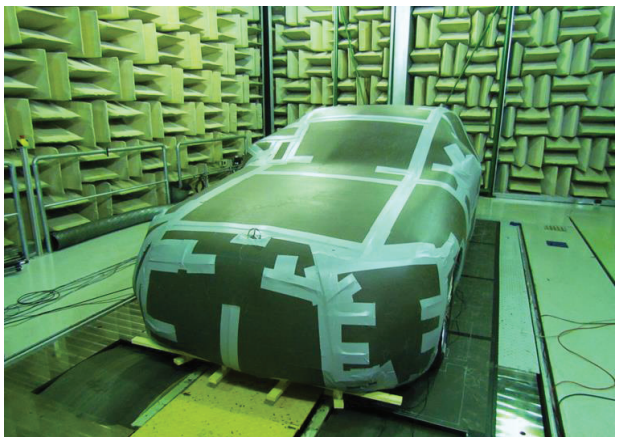

Abbildung 9: Mercedes S-Klasse Vollkapselung

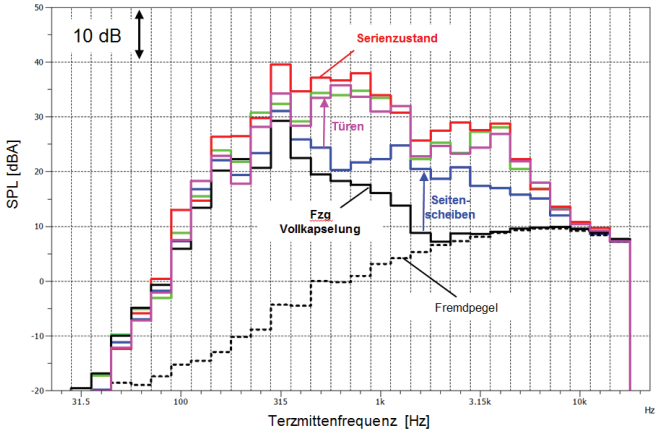

Abbildung 9: Mercedes S-Klasse, Terzspektren bei schrittweisem Öffnen der Vollkapselung (Quellposition Vorderrad Auslauf, Messpunkt Fahrerohr innen)

Schlussfolgerungen

Die vorstehend beschriebenen Untersuchungen haben gezeigt, dass dem Unterboden hinsichtlich der Übertragung des Rollgeräuschs in den Fzg-Innenraum eine grosse Bedeutung zukommt. Dies ist jedoch offensichtlich in Relation wahrzunehmen zu dem erheblichen Beitrag, den diesbezüglich die Seitenfenster und –türen darstellen. Hierbei ist bemerkenswert, dass sich der erhebliche Schalleintrag über diese Seitenflächen ausbildet, obwohl diese nicht im Direktfeld des Reifengeräuschs liegen (im Sinne einer direkten Abstrahlung des aus Reifen und Fahrbahn gebildeten Trichters).

Weiterhin wurde offensichtlich, dass eine strassenseitige absorptive Ausstattung des Unterbodens einen deutlichen positiven Effekt auf das Rollinnengeräusch besitzt. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse im Prüfstand und auf der Teststrecke deuten jedoch darauf hin, dass der Effekt der Absorption sich nicht alleinig auf die Reduzierung der Anregung des Unterbodens zurückführen lässt, sondern darüber hinaus möglicherweise auch die Anregung der Seitenflächen des Fahrzeugs mindert.

Die ermittelten Zusammenhänge führen so zur Vermutung, dass die Anregung der Seitenflächen beeinflusst werden durch die schalltechnischen Gegebenheiten in dem Raum zwischen Fahrzeug und Strasse (Beugungseffekte).

Versuche BMW 3er

In Verbindung der Erkenntnisse aus den beschriebenen Versuchen mit dem Bestreben eine hohe Qualität des Innengeräuschs mit möglichst wenig Gewicht zu erreichen, wurde ein neuartiges Sandwich-Material für den akustischen Karosserie-Leichtbau entwickelt und in einem BMW 3er erprobt (Stratura Hybrid™). Nachstehende Abbildung zeigt schematisch den Aufbau des LWRT-basierten Materials (LWRT = Low Weight Reinforced Thermoplastics).

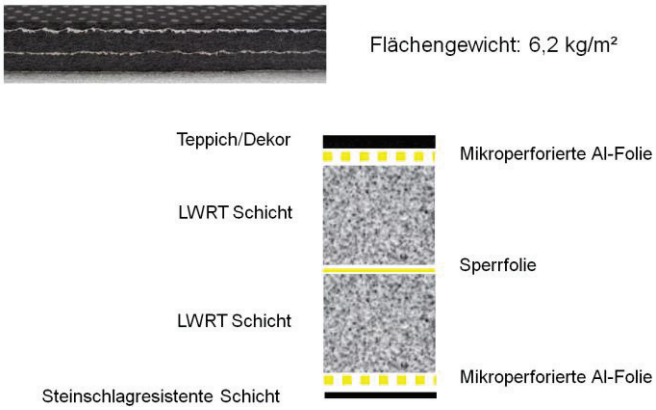

Abbildung 10: Aufbau Stratura Hybrid™

Das Konzept stellt neben den für die Karosseriebodenstruktur erforderlichen mechanischen und crashtechnischen Eigenschaften Schallabsorption innenraum- sowie strassenseitig bereit (Abb. 11).

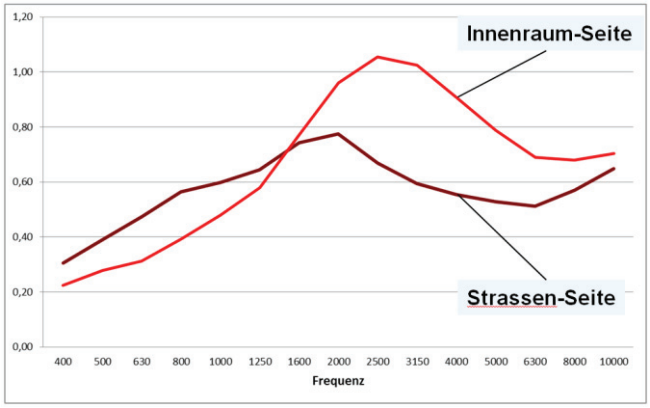

Abbildung 11: Stratura Hybrid™ Absorption in der Alphakabine

Die Schalldämmung des Stratura Hybrid™ folgt im wesentlichen dem Massegesetz und liegt im Vergleich zu üblichen Bodenaufbauten mit integrierten Feder-Masse-Systemen (Gradient ca. 12 dB / Oktave) konzeptbedingt niedriger.

Ausgehend von den Erkenntnissen am Tesla S und der S-Klasse wurde am BMW 3er im Serienzustand zunächst der Einfluss der Seitenflächen untersucht. Wiederum wurde ein erheblicher Eintrag über diesen Bereich festgestellt.

Abbildung 13: Teilkapselung Seitenfläche BMW 3er im Semifreifeldraum

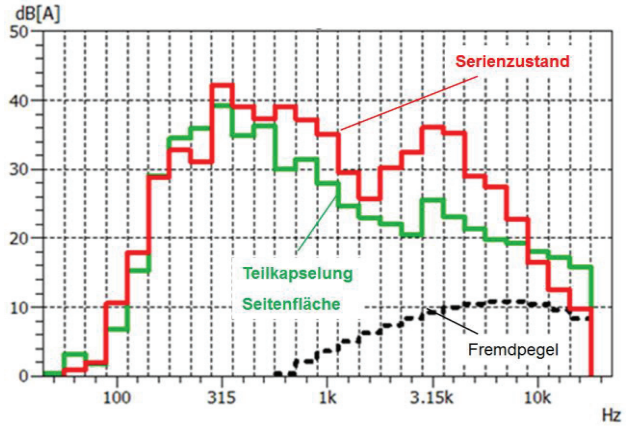

Abbildung 14: Teilkapselung Seitenfläche BMW 3er (Quelle Vorderrad Auslauf, Messpunkt Beifahrerohr innen)

Nachdem das Fahrzeug als Referenz im Serienzustand sowohl im Semifreifeldraum wie auch auf der Teststrecke vermessen war, wurden die Blechfelder der Bodengruppe herausgeschnitten und Platten des Stratura Hybrid™ am Umfang dicht in die Bodenstruktur eingeklebt (Abb. 15).

Abbildung 15: BMW 3er Bodengruppe innenraumseitig mit Ersatz der Blechfelder durch Platten Stratura Hybrid™

Bei den darauffolgenden Messungen wurde dieser Aufbau unter Entfall der serienmässig innenraumseitigen Schichten und der Unterbodenverkleidungen untersucht und den Ergebnissen des Serienzustands gegenüber gestellt.

Im Prüfstandsversuch wurden bei insgesamt recht ähnlichen Spektren frequenzabhängig Defizite gegenüber der Serie festgestellt. Auf der Teststrecke (Konstantfahrt 60 km/h) zeigte sich dies nicht, in einzelnen Terzen kommt es sogar zu Verbesserungen (Abb. 16).

Im Hörversuch wurden die beiden Bauzustände unter Hinweisen auf leichte klangliche Verschiebungen als im wesentlichen vergleichbar bewertet

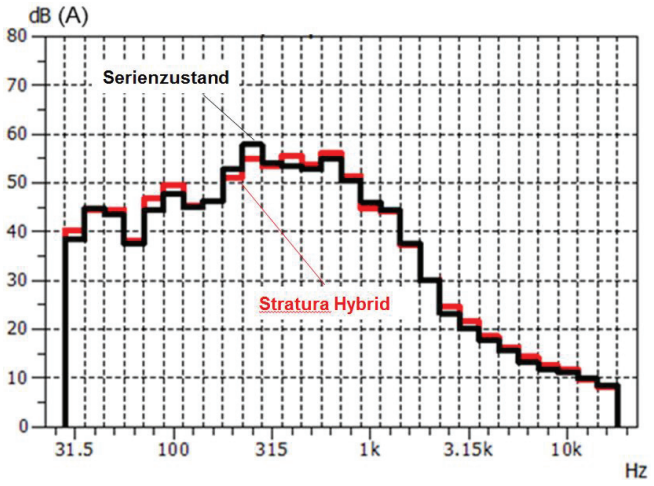

Abbildung 16: Rollinnengeräusch BMW 3er, ISO-Asphalt 60 km/h, Messpunkt Beifahrerohr innen

Zusammenfassung

An einem Tesla S, einer Mercedes S-Klasse und einem BMW 3er wurden experimentelle Untersuchungen zum Beitrag verschiedener Schallpfade auf das Rollinnengeräusch durchgeführt.

Als für das Rollinnengeräusch massgeblich wurden der Bereich des Unterbodens sowie insbesondere die seitlichen Fahrzeugflächen identifiziert. Die Ergebnisse deuten hierbei darauf hin, dass die Anregung der Seitenflächen positiv beeinflusst wird durch eine strassenseitige absorptive Ausrüstung des Unterbodens.

Dieser Effekt lässt sich vermutlich gezielt nutzen um in der Bodengruppe herkömmliche, aus Gründen der Schalldämmung gewichtsintensive Aufbauten zu ersetzen durch ein neuartiges Material für den akustischen Karosserieleichtbau welches neben den mechanischen und crashtechnischen Eigenschaften die akustische Absorption innenraum- und strassenseitig bereits integriert.

Weiterführende Untersuchungen sind geplant und sollen nach Möglichkeit auf der DAGA 2017 vorgestellt werden.

Literatur

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