

Messung der Innenraumabsorption bei Pkw für mittlere und höhere Frequenzen

Thomas Worreschk, Andreas Kramer, Reinhard Blumrich, Martin Helfer
 FKFS / IVK, Stuttgart, Email: reinhard.blumrich@fkfs.de, martin.helfer@fkfs.de

1. Einleitung

Die Geräuschentwicklung im Pkw-Innenraum ist im Hinblick auf den Komfort eines der wichtigsten Themen in der Fahrzeugentwicklung. Um ein angenehmes akustisches Klima im Fahrzeug zu erreichen kann hierbei neben Optimierungen an den einzelnen Geräuschquellen auch das akustische Verhalten des Innenraumes beeinflusst werden. Eine wichtige Größe ist dabei der mittlere Absorptionskoeffizient [1]. Auch für Schallfeldberechnungen auf der Basis von äußeren Anregungen spielt die Innenraumabsorption eine wichtige Rolle.

Daher ist es wichtig, einfache Methoden zur Bestimmung des mittleren Absorptionskoeffizienten im Fahrzeuginneren zur Verfügung zu haben. Eine dieser Methoden und einige der mit ihr gewonnenen Ergebnisse werden hier vorgestellt.

2. Messverfahren

Grundsätzlich lässt sich der Absorptionsgrad durch mehrere Verfahren bestimmen. Am bekanntesten ist für Materialien das Kundtsche Rohr und die Alpha-Kabine, bei der der Absorptionskoeffizient des Materials über die Probengröße und die Nachhallzeit bestimmt wird. Auch in der Bauakustik wird die Nachhallzeit zur Bestimmung des mittleren Absorptionsgrades in einem Zuhörerraum herangezogen.

Es ist daher naheliegend, auch die Messung der Innenraumabsorption bei Pkw mit Hilfe der Nachhallzeit durchzuführen. Hierzu muss im Fahrzeuginneren eine laute Geräuschquelle mit Monopolcharakter installiert werden, die ein breitbandiges Spektrum abstrahlt, um die Absorption über einen weiten Frequenzbereich bestimmen zu können. Hierzu wird entweder ein Kugellautsprecher mit Rauschen verwendet, der abgeschaltet wird, oder eine Impulsschallquelle. Als Nachhallzeit ist die Zeitspanne definiert, in der der Schalldruckpegel nach dem Abschalten der Quelle oder nach der Schalldruckspitze durch die Impulsschallquelle um 60 dB abfällt.

Da Kugellautsprecher im Allgemeinen recht groß sind und daher im Fahrzeuginnenraum Nachteile mit sich bringen, wurde zur Geräuschregung eine Impulsschallquelle herangezogen. In Vorversuchen zeigte sich, dass Luftballons beim Bersten ein hierfür sehr gut geeignetes Schallfeld erzeugen, das im zeitlichen Verlauf, den spektralen Eigenschaften und der Strahlungscharakteristik die Anforderungen voll erfüllt.

Wie **Abbildung 1** zeigt, kann der Ballon mit Hilfe eines funk-ferngesteuerten Servomotors, der eine Nadel gegen den Ballon dreht, zum Zerbersten gebracht werden.

Im Fahrzeug werden die Mikrofone und die Schallquelle so positioniert, dass die Mikrofone keinem Direktschall von der Quelle ausgesetzt sind (s. **Abbildung 2**).

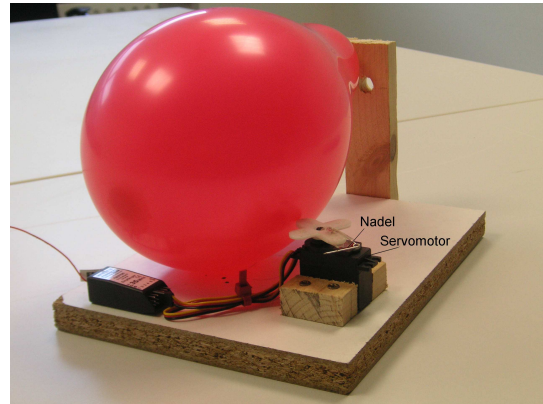


Abbildung 1: Impulsschallquelle: Ballon und Vorrichtung zum ferngesteuerten Anstechen.

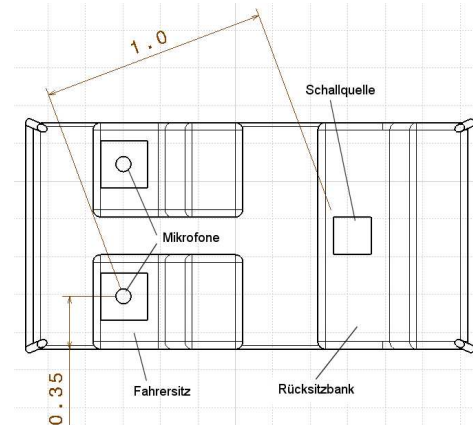


Abbildung 2: Positionierung von Schallquelle und Mikrofonen.

Der auswertbare Frequenzbereich wird zu tiefen Frequenzen hin vom Abstand der Mikrofone zur nächsten Oberfläche begrenzt. Dieser sollte eine Wellenlänge nicht unterschreiten. Es zeigte sich, dass die Raumverhältnisse in den Fahrzeugen Abstände von mehr als 0,35 m nicht zuließen. Über die Beziehung

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

lässt sich daher eine untere Grenzfrequenz von ca. 1.000 Hz für die Untersuchungen ermitteln. Der Mindestabstand zwischen Schallquelle und Mikrofonen ist von der zu erwartenden Nachhallzeit T_1 und vom Raumvolumen V abhängig. Er ergibt sich zu [2]

$$d_{\min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{c \cdot T_1}}$$

mit c für die Schallgeschwindigkeit. Bei erwarteten kleinsten Nachhallzeiten von 0,05 s und Raumvolumen von maximal 4 m³ ergibt sich somit ein Mindestabstand von ca. 1 m.

3. Messergebnisse

Als Testfahrzeuge wurden für diese Zusammenstellung die in **Tabelle 1** aufgeführten Fahrzeuge ausgewählt.

Tabelle 1: Ausgewählte Testfahrzeuge

Fahrzeugtyp	Ausführung	Ausstattung
1	Kombi	Glattleder
2	Limousine	Stoff
2	Limousine	perforiertes Leder
2	Kombi	Teilleder

Die sich ergebenden Nachhallzeiten in den vier Fahrzeugen sind in **Abbildung 3** dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, dass die Glattlederausstattung die höchsten Werte aufweist. Die niedrigsten Werte werden erwartungsgemäß mit der Stoffausstattung erreicht. Die Ergebnisse bestätigen auch eine Abschätzung der Nachhallzeit bei niedrigen Frequenzen für eine Untersuchung zur aktiven Geräuschminderung [3].

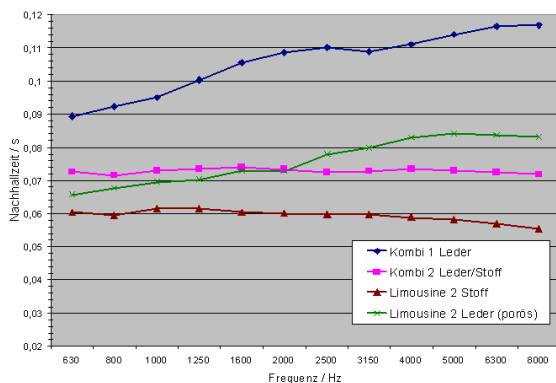


Abbildung 3: Nachhallzeiten in den Testfahrzeugen

Abbildung 4 zeigt die aus diesen Ergebnissen gewonnenen mittleren Absorptionskoeffizienten in den Fahrzeugen. Tendenziell steigt bei der Stoffausstattung der Absorptionsgrad über der Frequenz leicht an, während er bei den Lederausstattungen deutlich abfällt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Stoffbezüge als poröse Absorber eingestuft werden können, die in der Regel ihr maximales Absorptionsvermögen im hohen Frequenzbereich aufweisen. Die Lederbezüge können dagegen vereinfacht als Plattenabsorber angesehen werden, deren maximale Absorption sich über ein relativ schmales Frequenzband erstreckt, das – aufbauabhängig – eher im tieffrequenten Bereich liegt. Durch die Perforation, deren akustische Wirkung seit geraumer Zeit vermehrt eingesetzt wird [4], kann die Absorption der Lederausstattung deutlich erhöht werden. Wie zu erwarten, heben sich die beiden gegensätzlichen Effekte von Leder und Stoff bei der Teillederausstattung gegenseitig auf, was dazu führt, dass deren Absorption über der Frequenz nahezu konstant bleibt.

Dass die Innenausstattung von Fahrzeugen tatsächlich einen deutlichen Einfluss auf das Innengeräusch haben kann, zeigt **Abbildung 5**. Dort sind die Schalldruckspektren am rechten Fahrerohr im selben Fahrzeug bei Leder- und Stoffausstattung dargestellt. Die Messungen hierzu erfolgten in einem aeroakustischen Windkanal [5] bei 140 km/h Anströmgeschwindigkeit.

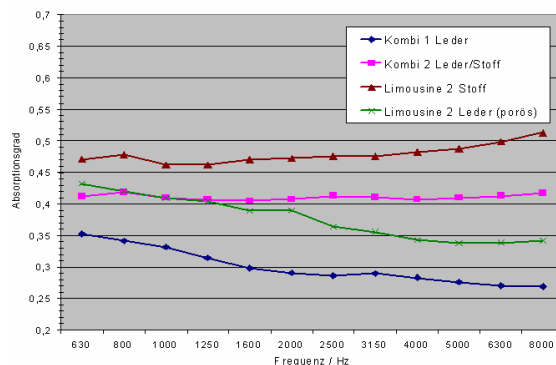


Abbildung 4: Absorptionsgrade in den Testfahrzeugen

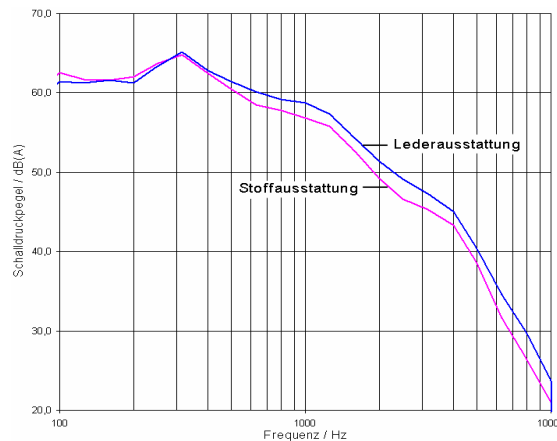


Abbildung 5: Terzspektren bei Windanregung

4. Zusammenfassung

Die Innenraumabsorption von Pkw kann mit einfachen Mitteln über die Nachhallzeit bestimmt werden. Eine Methode hierzu wurde vorgestellt. Die Ergebnisse für unterschiedliche Fahrzeugausstattungen zeigen, dass Ledersitze deutlich geringere Absorptionen aufweisen, als Stoffsitze. Dies kann sich auch deutlich im Innengeräusch bemerkbar machen.

5. Literatur

- [1] Becker, J.; Heppelter, M.: Einfluß der Absorption auf die akustische Qualität im Fahrzeuginnenraum. Tagungsband der DAGA '02, 4.-7.3.2002, Bochum. Oldenburg: DEGA e.V., 2002.
- [2] DIN EN ISO 3382: Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter. März 2000.
- [3] Schirmacher, R.; Evert, F., Lippold, R.: Aktive Geräuschminderung und Active Sound Design in PKW-Innenräumen. Tagungsband der DAGA '05, 14.-17.3.2005, München. Oldenburg: DEGA e.V., 2005.
- [4] Patsouras, D.; Pfaffelhuber, K.: Breitbandige Schallabsorption ohne den Einsatz von faserigen oder porösen Materialien. Tagungsband der DAGA 2000, 20.-23.3.2000, Oldenburg. Oldenburg: DEGA e.V., 2000.
- [5] Helfer, M.: Aeroakustik. In: Hucho, W. H.: Aerodynamik des Automobils – Strömungsmechanik, Wärmetechnik, Fahrdynamik, Komfort. Wiesbaden: Vieweg, 2005.