

Entstehung und Weiterleitung von Regengeräuschen in einem Pkw

Ramón Hebestreit¹, Matthias Riegel¹, Florian Köhnlein²

¹ FKFS, 70569 Stuttgart, E-Mail: ramon.hebestreit@fkfs.de, matthias.riegel@fkfs.de

² Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart, E-Mail: florian.koehnlein@gmx.de

Einleitung

Im Zuge der ständig abnehmenden Geräuscentwicklung im Fahrzeuginnenraum und dem Bestreben nach der Schaffung eines angenehmen akustischen Klimas treten immer mehr Störgeräusche in den Vordergrund, denen bisher nur wenig Beachtung geschenkt wurde. Eines dieser Geräusche ist das Regengeräusch, welches besonders im Stillstand und bei langsamer Fahrt durch das Auftreffen von Regentropfen auf Karosserie und Verglasung entsteht. Zur Reduzierung der entstehenden Schalldruckpegel im Fahrzeuginneren ist unter anderem die Kenntnis über den jeweiligen Beitrag der verschiedenen Außenflächen notwendig. Zur messtechnischen Untersuchung eignen sich Geräuschanregungen

- im Freiem bei natürlichem Regen,
- in einem Regengeräuschprüfstand mit definierter Wassermenge und
- mit einem Impulshammer.

Bei Messungen mit natürlichem Regen ergeben sich die realistischsten Bedingungen, jedoch ist durch unterschiedliche Regenmengen und Tropfenspektren, sowie weiterer Umwelteinflüsse die Reproduzierbarkeit stark eingeschränkt. Bei Messungen in einem Regengeräuschprüfstand hingegen sind Regenmenge und Tropfenspektrum einstellbar, wodurch einzelne Messungen zu reproduzierbaren Ergebnissen führen. Wie bei der Anregung durch natürlichen Regen sind Untersuchungen zum Beitrag einzelner Fahrzeugoberflächen jedoch nur eingeschränkt realisierbar. Mit einem Impulshammer ist es möglich durch punktgenaue Anregung den Beitrag einzelner Bereiche zu ermitteln [1]. Ob sich hierdurch realitätsnahe Ergebnisse erzielen lassen, soll durch Vergleichsmessungen mit Tropfenanregung und bei natürlichem Regen überprüft werden.

Versuchsaufbau und -durchführung

Als Versuchsträger dient ein Fahrzeug der oberen Mittelklasse. Es werden Messungen auf 5 Außenflächen (der Motorhaube, der Windschutzscheibe, dem Dach, der Heckscheibe und dem Kofferraumdeckel) durchgeführt. Auf diesen 5 Außenflächen sind für die Impulshammeranregung 230 Messpunkte gleichmäßig verteilt, an denen jeweils die Anregungskraft und die Beschleunigung gemessen werden. Für die Vergleichsmessungen mit Tropfenanregung wird an 15 dieser Punkte (3 je Außenfläche) die Beschleunigung gemessen. Das dadurch resultierende Innengeräusch für die Impulshammer- und Tropfenanregung, sowie für die Anregung durch natürlichen Regen, wird an zwei Positionen mit Kunstköpfen aufgezeichnet. Pro Punkt werden 10 Hammerschläge, bzw. 10 Tropfen aus 3 m Fallhöhe

gemessen. Diese Höhe wird in [2] als ausreichend erachtet, da für Fallhöhen oberhalb 3 m die Tropfengeschwindigkeit nur noch gering ansteigt. Die Dauer der Regenmessungen beträgt 10s. Der beschriebene Versuchsaufbau ist in **Abbildung 1** dargestellt.

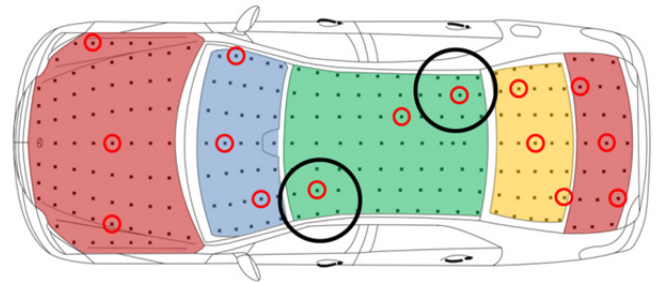


Abbildung 1: Dargestellt sind die 5 Messflächen mit ihren insgesamt 230 Messpunkten (schwarze Punkte). Zudem sind die 15 Messpunkte (rote Kreise) für die Tropfenanregung, sowie die beiden Kunstköpfe (schwarze Kreise) markiert.

Ausgewertet wird der Frequenzgang $H_0(f)$ (im Folgenden als Übertragungsfunktion bezeichnet). Er beschreibt das Verhältnis zwischen dem Ausgangssignal $Y(f)$ und dem Eingangssignal $X(f)$ [3]:

$$H_0(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Hierbei wird für den Vergleich von Impulshammer- und Tropfenanregung der Frequenzgang $H_0(f)$ zwischen dem Schalldruck im Fahrzeuginneren und der Beschleunigung am Anregungspunkt berechnet. Da die anregende Kraft für die einzelnen Punkte nicht konstant ist, wird zur Bestimmung der einzelnen Flächenbeiträge die Übertragungsfunktion zwischen der Kraft am Anregungspunkt und dem Schalldruck im Fahrzeuginneren verwendet.

Ergebnisse

In **Abbildung 2** sind die über alle Messpunkte gemittelten Schalldruckspektren im Fahrzeuginnenraum für die Impulshammer- und die Tropfenanregung, sowie für die Messungen bei natürlichem Regen dargestellt. Die höheren Pegel beim Impulshammer ergeben sich durch das wesentlich höhere Anregungsniveau. Dennoch ist der qualitative Verlauf aller 3 Anregungsarten sehr ähnlich. Bei ca. 800 Hz ist ein Anstieg des Schalldruckpegels zu sehen, der bei der Impulshammeranregung und bei den Regenmessungen auftritt. Dieser Anstieg ist auch bei der Tropfenanregung zu sehen, fällt aber wesentlich schwächer aus.

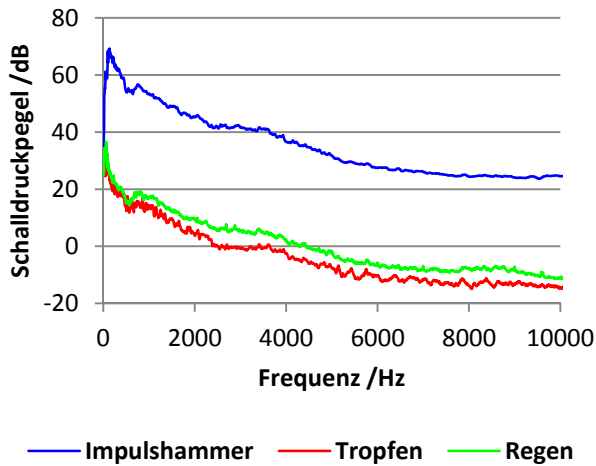


Abbildung 2: Vergleich der gemittelten Schalldruckspektren im Fahrzeuginnenraum von Impulshammer-, Tropfenanregung und natürlichem Regen.

Der direkte Vergleich der Übertragungsfunktionen für die Impulshammer- und Tropfenanregung am hinteren Kunstkopf (inneres Ohr) zeigt, dass die Übertragungsfunktionen für beide Anregungsarten vergleichbar sind. In **Abbildung 3** ist dieser Vergleich für einen Punkt auf der Heckscheibe exemplarisch dargestellt. Beide Funktionen zeigen einen ähnlichen Verlauf, wobei die mittlere Abweichung bei ca. 2 dB liegt.

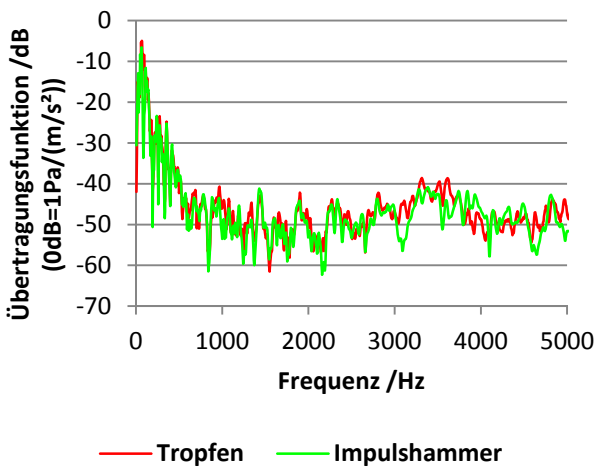


Abbildung 3: Vergleich der Übertragungsfunktionen zwischen der Beschleunigung an der Heckscheibe und dem Schalldruck am inneren Kunstkopfhör auf der Rückbank für die Tropfenanregung (blau) und die Impulshammeranregung (rot).

In **Abbildung 4** sind die nach Flächen gemittelten Übertragungsfunktionen zwischen der Kraft der Impulshammeranregung und dem Schalldruck im Fahrzeuginnenraum für das äußere Ohr am vorderen Kunstkopf dargestellt. Die Motorhaube und der Kofferraumdeckel besitzen dabei das schlechteste Übertragungsverhalten. Bis 200Hz ist die Übertragung des Kofferraumdeckels auf einem ähnlichen Niveau wie die Heckscheibe, fällt jedoch zu höheren Frequenzen stark ab.

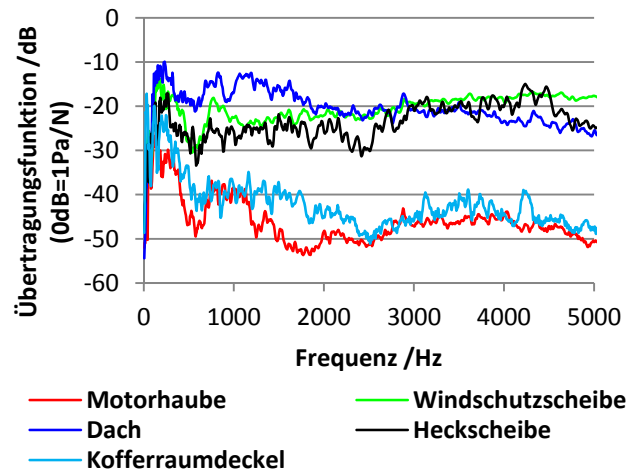


Abbildung 4: Übertragungsfunktionen der einzelnen Flächen zwischen Anregungskraft und Schalldruck am äußeren Ohr des vorderen Kunstkopfs.

Unabhängig vom Emissionsort lassen sich bei den Übertragungsfunktionen 3 Bereiche festlegen:

- Unterhalb von 100 Hz trägt der Kofferraumdeckel wesentlich zum Innengeräusch bei,
- zwischen ca. 100 Hz und ca. 2500 Hz ist das Dach die Dominante Quelle,
- oberhalb von 2500-3000 Hz ist je nach Kopfposition entweder die Windschutzscheibe (vorne) oder die Heckscheibe (hinten) dominant.

Abbildung 5 zeigt den Vergleich des Flächenbeitrags bei 32 Hz zwischen vorderem (oben) und hinterem (unten) Kunstkopf (jeweils inneres Ohr). Es zeigt sich, dass der Kofferraumdeckel am vorderen Kunstkopf ein um 12 dB besseres Übertragungsverhalten besitzt als am hinteren Kunstkopf.

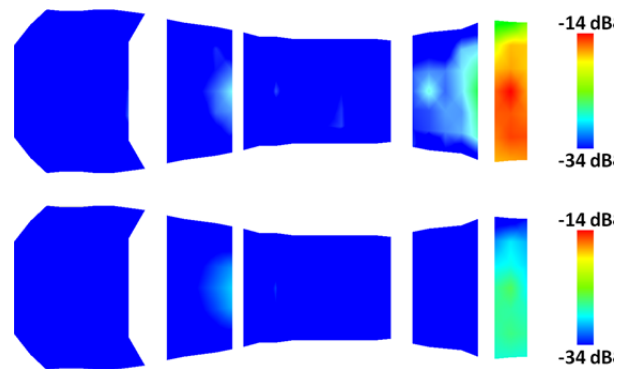


Abbildung 5: Vergleich des Flächenbeitrags bei 32 Hz zwischen vorderem (oben) und hinterem (unten) Kunstkopf (jeweils inneres Ohr).

Abbildung 6 zeigt den Vergleich des Flächenbeitrags bei 3100 Hz zwischen vorderem (oben) und hinterem (unten) Kunstkopf (jeweils inneres Ohr). Zu sehen ist, dass die Heckscheibe zum vorderen Kopf ein besseres Übertragungsverhalten besitzt als die Windschutzscheibe zum hinteren Kopf.

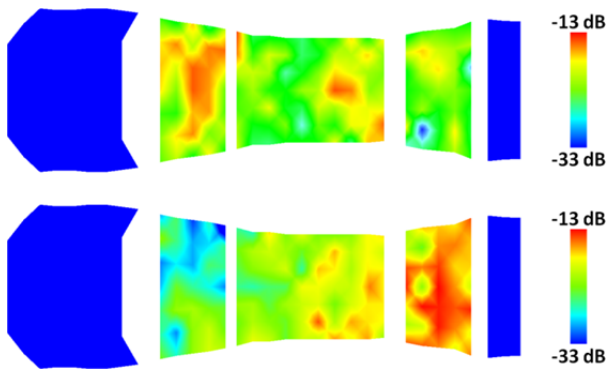


Abbildung 6: Vergleich des Flächenbeitrags bei 3100 Hz zwischen vorderem (oben) und hinterem (unten) Kunstkopf (jeweils inneres Ohr).

Abbildung 7 zeigt den Vergleich des Flächenbeitrags bei 4760 Hz zwischen äußerem (oben) und innerem (unten) Ohr am vorderen Kunstkopf. Es fällt auf, dass am äußeren Ohr nur die linke Seite der Windschutzscheibe kritisch ist, während es am inneren Ohr nahezu die komplette Windschutzscheibe ist. Auch ist zu sehen, dass die Heckscheibe innen einen größeren Beitrag leistet als außen.

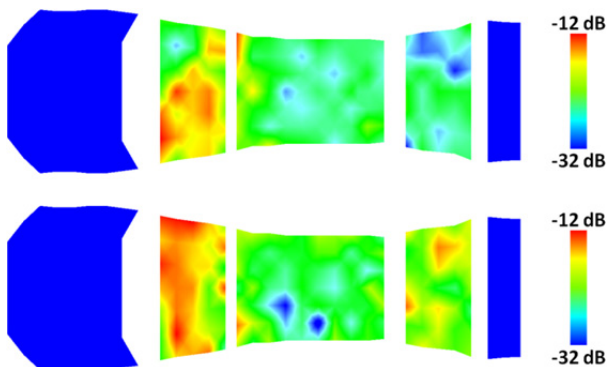


Abbildung 7: Vergleich des Flächenbeitrags bei 4760 Hz zwischen äußerem (oben) und innerem (unten) Ohr am vorderen Kunstkopf.

Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass mit der Impulshammermethode realitätsnahe Ergebnisse erzielt werden können, wie der Vergleich mit der Tropfenanregung und mit natürlichem Regen zeigt. Die Impulshammermethode ist geeignet um für das Regengeräusch kritische Bereiche auf der Fahrzeugoberfläche zu lokalisieren. Die Windschutzscheibe, das Dach und die Heckscheibe leisten den größten Beitrag zum Regengeräusch im Fahrgastraum. Bei tiefen Frequenzen leistet der Kofferraumdeckel einen Beitrag, wohingegen die Motorhaube keinen wesentlichen Einfluss hat. Zusätzlich können abhängig vom Emissionsort im Fahrzeug unterschiedliche kritische Bereiche festgestellt werden [1].

Literatur

- [1] Köhnlein, F.: Untersuchung der Übertragung des Regengeräusches von der Fahrzeugoberfläche in den Fahrgastraum; Universität Stuttgart, 2014

- [2] Veen, R.G; Mealman, M.R.; Eppard, P.J.: A Method and Apparatus for Generating Full Vehicle Roof System Rain Noise for the Purpose of Development, Benchmarking and Interior Noise Performance Measurements. SAE 2001 Noise and Vibration Conference and Exposition, April 2001
- [3] Zeller, P.: Handbuch Fahrzeugakustik- Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2. Auflage 2012, ISBN: 978-3-8348-1443-2