

Einfluss von Vibrationen auf die Wahrnehmung psychoakustischer Empfindungsgrößen bei Fahrzeuggeräuschen

Arne Oetjen¹, Louis Krause¹, Mechthild Meierott¹ und Steven van de Par¹

¹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Acoustics Group, 26129 Oldenburg, Email: arne.oetjen@uni-oldenburg.de

Einleitung

Akustische Bewertungen von Fahrzeuggeräuschen werden in der Regel im Labor vorgenommen, da nur auf diesem Weg eine kontrollierte Schalldarbietung und der direkte Vergleich zwischen einzelnen Fahrzeugen möglich sind. In einer solchen Laborsituation werden die Geräuschaufnahmen oft jedoch ohne das Zusammenwirken mit anderen sensorischen Einflüssen präsentiert. Solche Einflüsse können visuelle Eindrücke, Gerüche, Beschleunigung oder Vibrationen aus der Fahrzeugstruktur sein. Es kann angenommen werden, dass die Art und Stärke der Ganzkörpervibrationen einen Einfluss auf die wahrgenommene Ausprägtheit verschiedener psychoakustischer Empfindungsgrößen hat, da die Frequenzen der im Kfz auftretenden Vibrationen oft mit den Modulationsfrequenzen in der akustischen Domäne übereinstimmen. In einem Bewertungsversuch wurden Aufnahmen von Fahrzeuggeräuschen und Vibrationen auf einem Vibrationsprüfstand mit Fahrersitz und Lenkrad dargeboten. Die Proband*innen bewerteten die Geräusche bezüglich der für niedertourige Betriebszustände relevanten Größen „Wummern“, „Brummen“, „Dröhnen“ und „R-Rauigkeit“ [1] wobei die Vibrationen jeweils beim Originalpegel und um 6dB abgesenkt und angehoben dargeboten wurden. In den Bewertungen ist ein Einfluss der Variation der Vibrationsstärke auf die wahrgenommene Ausprägtheit der psychoakustischen Empfindungen feststellbar. Auch verläuft die Beeinflussung der Bewertungen nicht linear mit der Änderung der Vibrationsstärke. Diese Erkenntnisse geben sowohl Auskunft über die Anwendbarkeit rein akustischer Laborbewertungen auf die Geräuschqualität des realen Fahrzeugs als auch über das Zusammenspiel von Vibrationen und der akustischen Wahrnehmung.

Versuchsaufbau

Als Grundlage für den Versuch dienten Audio- und Vibrationsaufnahmen aus verschiedenen PKW. Aus diesen Geräuschen wurden 5 s lange, jeweils vier für die Empfindungsgrößen „Wummern“, „Brummen“, „Dröhnen“ und „R-Rauigkeit“ prominente Ausschnitte extrahiert. Die Wiedergabe der Audiospuren erfolgte über Kopfhörer (Sennheiser HD650) mit einem um jeweils 5 dB reduzierten Pegel im Vergleich zum Originalgeräusch. Die Vibrationen in allen drei Raumrichtungen wurden über eine Vibrationsplattform wiedergegeben. Auf diese Plattform war ein PKW Sitz montiert, die Kalibration der Vibrationspegel erfolgte für alle Proband*innen individuell an der hinteren Verschraubung der Sitzschiene, an diesem Punkt wurden auch die Aufnahmen der Vibrationen abgenommen. Zusätzlich war am Aufbau ein Lenkrad mon-

tiert, dessen Vibration in zwei Raumrichtungen angeregt wurde (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Vibrationsplattform für die Simulation von Ganzkörper- und Lenkradvibrationen

Die vier für jede der Empfindungsgrößen charakteristischen Geräusche wurden im Versuch mit dem originalen Vibrationspegel, einem um 6 dB abgesenktem und einem um 6 dB verstärktem Pegel wiedergegeben. Somit wurden für jede Empfindungsgröße 12 Geräusche bewertet. An dem Versuch nahmen 40 Proband*innen teil. Die Versuche begannen jeweils mit einer kurzen Einführung in die jeweilige Empfindungsgröße, in der sehr stark und sehr wenig ausgeprägte Beispiele, die nicht Teil des späteren Versuchs waren, vorgespielt wurden. Darauf folgend wurden alle 12 Geräusche des Versuchs in zufälliger Reihenfolge wiedergegeben. Hierauf folgte eine kategoriale Bewertung der Angenehmheit, eine kategoriale Bewertung der jeweiligen Empfindungsgröße auf einer neunstufigen Skala und ein vollständiger Paarvergleich bezüglich der Empfindungsgröße. Im Anschluss wurden alle drei Bewertungsdurchgänge wiederholt. Die Messung bezüglich einer Empfindungsgröße dauerte ca. 60 min pro Person, die Gesamtmessung dauerte somit 160 Stunden.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der kategorialen Bewertungen für die Empfindungsgröße R-Rauigkeit sind in Abbildung 2 dargestellt. Bei Variation des Vibrationspegels um ± 6 dB um rund eine Kategorie für die wahrgenommene R-Rauigkeit und um bis zu zwei Kategorien für die Angenehmheit. Aus diesen Daten lässt sich schlussfolgern, dass die R-Rauigkeit und die Angenehmheit der Geräusche durch die Variation des Vibrationspegels beeinflusst wird. Aus-

sagen über die absolute Stärke dieses Effekts können aufgrund der aus dem Versuchsdesign resultierenden Darstellung auf einer Intervallskala nicht getroffen werden.

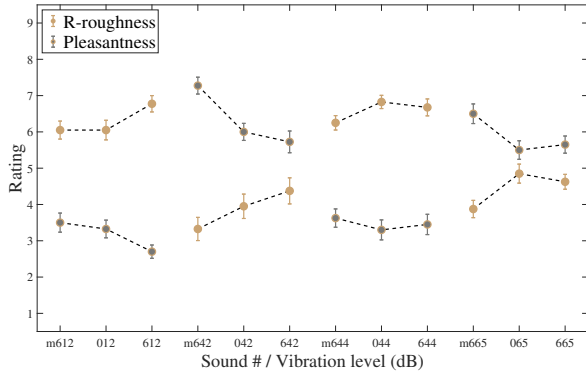


Abbildung 2: Kategoriale Bewertungen für die R-Rauigkeit (braun) und die wahrgenommene Angenehmheit (grau) für vier Fahrzeuggeräusche (X-Achse, # 12, 42, 44 und 65) mit dem originalen (gekennzeichnet durch „0XX“), um 6 dB abgeschwächtem Vibrationspegel („m6XX“) und um 6 dB verstärktem („6XX“) Vibrationspegel. Geräusch- Vibrationskombinationen, die aus einer Aufnahme stammen, sind mit gestrichelten Linien verbunden.

In den Abbildungen 3 bis 6 sind die mit Hilfe eines numerischen Verfahrens [2] berechneten verhältnisskalierten Daten aus den Paarvergleichen dargestellt. Aus dieser Art der Skalierung lässt sich die relative Änderung der wahrgenommenen Stärke der Empfindungsgröße ablesen. Die Korrelation dieser Daten mit den kategorialen Bewertungen war für alle sehr hoch ($r > 0,9$).

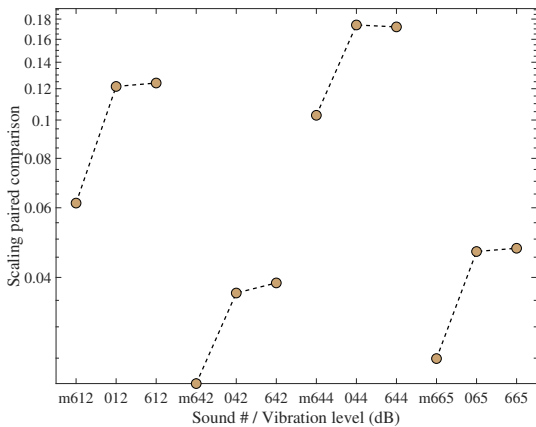


Abbildung 3: Verhältnisskalierte Daten aus den Paarvergleichen für R-Rauigkeit. Die Darstellungweise und Beschriftung entspricht der in Abbildung 2.

Aus diesen Daten kann errechnet werden, dass sich die R-Rauigkeit im Mittel um einen Faktor von 1,85 ändert, wenn der Vibrationspegel um 12 dB geändert wird. Für die Empfindungsgröße Wummern ist dieser Effekt deutlich größer (siehe Abbildung 4), hier ändert sich die wahrgenommene Stärke der Empfindungsgröße im Mittel um einen Faktor von 3,34. Für die Größe Brummen beträgt

dieser Faktor 3,47 (Abbildung 5) und für Dröhnen 2,55 (Abbildung 6).

Aus diesen Beobachtungen lässt sich schließen, dass eine rein akustische Bewertung der Klangqualität nicht notwendigerweise Rückschlüsse auf die im realen Fahrzeug erlebten, durch multimodale Eindrücke beeinflusste Geräuscheindrücke zulässt.

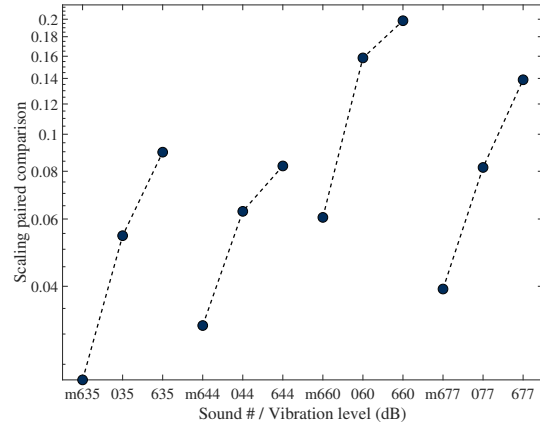


Abbildung 4: Verhältnisskalierte Daten aus den Paarvergleichen für Wummern. Die Darstellungweise und Beschriftung entspricht der in Abbildung 2.

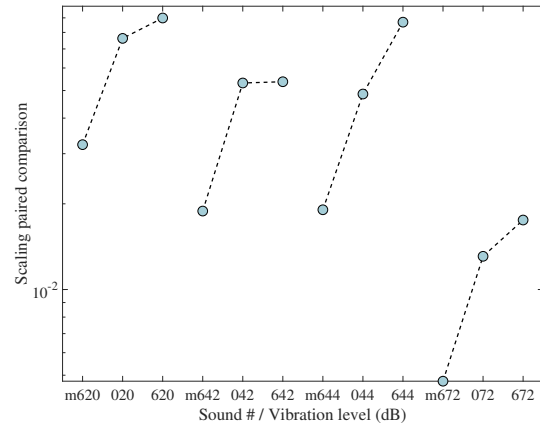


Abbildung 5: Verhältnisskalierte Daten aus den Paarvergleichen für Brummen. Die Darstellungweise und Beschriftung entspricht der in Abbildung 2.

Diskussion

Die in den Versuchen erhobenen Subjektivdaten zur Ausprägtheit verschiedener akustischer Empfindungsgrößen zeigen einen zum Teil sehr großen Einfluss der Vibrationen auf das jeweilige akustische Perzept. Abhängig von der Empfindungsgröße und dem Fahrzeuggeräusch verläuft die Stärke der Beeinflussung der akustischen Reize oft nicht linear mit dem Vibrationspegel. Dies könnte eventuell auf Sättigungsphänomene hindeuten. Für die Geräusch- Vibrationskombination mit der Nummer 44 wurden alle vier Größen bewertet, hier zeigen sich sowohl für die R-Rauigkeit als auch für das Dröhnen kaum Änderungen bei einer Verstärkung des Vibrationspegels, bei einer Reduktion des Pegels zei-

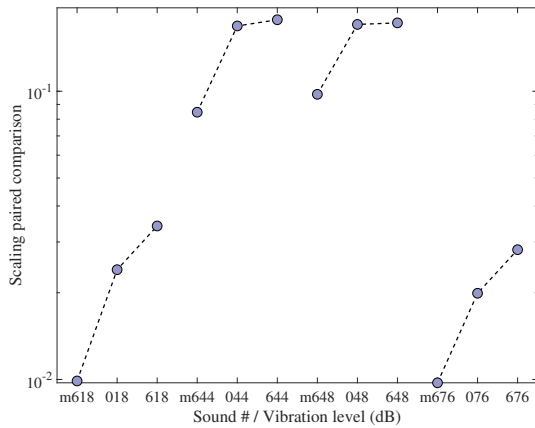


Abbildung 6: Verhältnisskalierte Daten aus den Paarvergleichen für Dröhnen. Die Darstellungsweise und Beschriftung entspricht der in Abbildung 2.

gen sich jedoch sehr deutliche Effekte. Dieses Verhalten ist für die Größen Wummern und Brummen allerdings nicht zu beobachten. Auch ist der Einfluss auf die verschiedenen Empfindungsgrößen sehr unterschiedlich ausgeprägt. Aufgrund dieser Datenlage ist nicht anzunehmen, dass ein von einer Linearkombination mit der Vibrationsstärke ausgehendes, generalisiertes Modell für alle Empfindungsgrößen eine zuverlässige Vorhersage des Einflusses von Vibrationen auf die akustische Wahrnehmung liefern kann.

Bei einigen Beispielen änderte sich bei einer Variation des Vibrationspegels bei einem Geräusch die Rangfolge verglichen mit anderen Geräuschen, obwohl der rein akustische Reiz konstant blieb. Somit wurde in den Versuchen sehr deutlich gezeigt, dass eine rein akustische Evaluation der Geräuschqualität von Fahrzeuggeräuschen nicht zwingend mit dem Eindruck im realen Fahrzeug übereinstimmen muss.

Danksagung

Die vorgestellte Studie war Teil des Projekts „Empfindungsgrößen niedertouriges Fahren“ der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV).

Literatur

- [1] Springer, N. und Weber, R.: Bewertung von amplitudenmodulierten Schallen im R-Rauhigkeitsbereich. Fortschritte der Akustik, DAGA 1995 (1995), 839-842
- [2] Wickelmaier, F. und Schmid, C.: A Matlab function to estimate choice model parameters from paired-comparison data. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers 36 (2004), 29-40