

Subjektive Bewertung von instationären Funktionsgeräuschen in der Fahrzeugakustik

Robert Liebing¹, Reinhard Weber²

¹ BMW AG, 80788 München, Deutschland

² Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 26129 Oldenburg, Deutschland

Einleitung

Die Hörwahrnehmung spielt heutzutage im Automobilbau eine herausragende Rolle. So werden bei der Fahrzeugentwicklung auch klangliche Eigenschaften beachtet. Einer der ersten akustischen Eindrücke, den ein potentieller Kunde von einem Automobil erhält, ist das Öffnen der Tür. Allerdings gibt es bislang keine oder nur unzureichende Erhebungen, wie verschiedene Probanden unterschiedliche Türgeräusche bewerten und von welchen Faktoren diese Urteile abhängen.

Angewandte Methodik

Zunächst wurden türgeräuschbeschreibende Adjektive mit Hilfe von Mailings zusammengetragen. Die so erhaltenen Merkmale fasste man zu Antonympaarungen zusammen und stellte sie in einem semantischen Differential gegenüber. Anschließend hatten die Probanden die Aufgabe, die Ausprägung dieser Items anhand von Geräuschbeispielen zu beschreiben. Zur Vermeidung von Verfälschungen dieser Beurteilungen durch Störanteile im Geräusch ging man bei der Aufnahme, der Auswahl und der Zusammenstellung der Geräuschbeispiele sehr sorgfältig vor. In dieser Untersuchung zeichnete man Öffnungs- und Schließgeräusche von Fahrzeugen verschiedener Hersteller und Entwicklungsstände mit Hilfe eines Kunstkopfes in einem speziellen Akustikmessraum digital auf. Dabei stand der Kunstkopf in genormter Position leicht nach rechts versetzt vor der Fahrertür und bildete einen ca. 1,80m großen Menschen nach, der gerade dabei war, die Tür zu betätigen. Beim Schließen traten infolge von diversen Funktionsvorgängen am Fahrzeug (z.B. das Schlagen der Entlüftungskappen) nicht zum Türgeräusch zugehörige Nebengeräusche auf, welche die Bewertung durch die Testpersonen verfälschen konnten. Aus diesem Grund wurde nur das der Tür zugewandte Ohr für die Hörversuche verwendet und das dort aufgezeichnete Signal auf beide Ohren gegeben. Danach noch enthaltene, störende Signalanteile wurden herausgeschnitten oder zeit- und frequenzselektiv gefiltert. Letztendlich brachte man die Geräuschbeispiele auf eine einheitliche Länge von 2 Sekunden und normierte diese auf den gleichen a-bewerteten Pegel um den Lautstärkeinfluss auszuschließen.

Die so erhaltenen Geräuschbeispiele wurden zur Durchführung von Hörversuchen in einem BMW Audiolabor zusammengestellt, an denen insgesamt 38 verschiedene Probanden (einige auch mehrfach), davon 12 Fachleute und 6 Frauen (hauptsächlich BMW-

Mitarbeiter) teilnahmen. Zur Überprüfung der Validität und Reliabilität wiederholte man ganze Hörversuche in jeweils randomisierter Geräuschreihenfolge, genau so, wie einzelne Beispiele innerhalb und zwischen den Durchgängen. Zur Ermittlung der Faktorenanzahl wurden jeweils getrennt nach Öffnen und Schließen 30 verschiedene Türgeräusche bewertet, die ein breites Geräuschspektrum abdeckten. Zusätzlich zu den im Pegel angeglichenen Beispielen variierte man jeweils ein Öffnen und Schließen in einem Bereich von sehr leise bis sehr laut und verteilte die so erhaltenen Abstufungen zufällig über alle Hörversuche.

Davon unabhängig sollte herausgefunden werden, wie der optimale Pegel auszusehen hat. Dazu verwendete man im Gegensatz zu den Versuchen zur Faktorenanalyse nur 2 gute und 2 schlechte Öffnungs- und Schließgeräusche und variierte diese wiederum von einem sehr leisen bis sehr lauten Pegel. Die Bewertung erfolgte dabei anhand einer 7-stufigen Skala von „viel zu leise“ über „genau richtig“ bis „viel zu laut“. Auch hier gab es eine zufällige Reihenfolge und Wiederholungen.

Mit Hilfe des semantischen Differentials realisierte man Umfragen zum optimalen Türgeräusch und unterschied dabei nach Öffnen und Schließen sowie nach Sportwagen und Limousine des Premium-Segementes.

Ergebnisse

Wie sich gezeigt hat, unterscheiden die Probanden das optimale Türgeräusch einer Limousine des Premium-Segementes von dem eines Sportwagens, ebenso wie sie zwischen Öffnen und Schließen differenzieren. So darf das Öffnen eines Sportwagens generell etwas lauter, klackender, weniger luxuriös, leichter, tonaler, heller, härter, schärfer, hohler, aufdringlicher und hochfrequenter sein, als das der Premium-Limousine. Auch beim Schließen lässt sich dieser Trend erkennen. Hier sollte eine Limousine des Premium-Segementes erheblich leiser, satter, weniger klackend, solider, luxuriöser, schwerer, weniger tonal, dunkler, weicher, stumpfer, massiver, unaufdringlicher und tieffrequenter sein, als ein Sportwagen. Außerdem ist zu erkennen, dass das Schließen gegenüber dem Öffnen generell etwas lauter, klappriger, tonaler, klicken-der und aufdringlicher sein darf.

Das Ergebnis der Faktorenanalyse bilden nach einer Varimax-Rotation und dem Kaiser-Kriterium 6 Faktoren, die zusammen 75,2% der Gesamtvarianz abdecken. Der Erste beinhaltet mit dem höchsten Varianz-

teil die Itempaarungen unausgereift-ausgereift, schlecht-gut, unausgewogen-ausgewogen sowie minderwertig-hochwertig. Im Zweiten sind die Antonympaare kraftlos-kraftvoll, hochfrequent-tieffrequent, schrill-sonor und hell-dunkel zusammengefasst. Die Adjektive ploppig-nicht ploppig sowie topfig nicht topfig beinhaltet die 3. Komponente. Nachschwingend-nicht nachschwingend und hallig-nicht hallig bilden den 4. Faktor. Faktor 5 beinhaltet hart-weich sowie laut-leise. Der Letzte umfasst das Merkmalspaar klickend-nicht klickend.

Ein Geräuschbeispiel wurde im Pegel variiert und auf alle Hörversuche aufgeteilt. So ist es möglich, Beziehungen des Pegels zu anderen Itempaaren herzustellen.

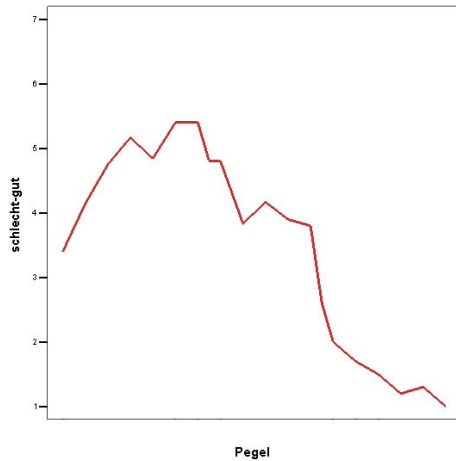


Abbildung 1: Zusammenhang Pegel und Itempaar schlecht-gut.

Wie der Abbildung 1 zum Öffnen beispielhaft zu entnehmen ist, besteht ein Zusammenhang zu den Itempaar schlecht-gut. Die beste Bewertung erhält das Geräusch, wenn der Pegel im unteren Mittel liegt. Bei einer Verringerung genau wie bei einer Erhöhung bewerten die Probanden deutlich schlechter. Der Kurvenverlauf des Schließens ähnelt der Charakteristik des Öffnens, variiert jedoch geringfügig im Pegel. Die schlechte Beurteilung sehr geringer Pegel kann mit der erwarteten Rückmeldung zusammenhängen. So ist es für die Testpersonen sehr wahrscheinlich wichtig zu hören, ob die Tür richtig zu war (beim Öffnen) oder richtig zu ist (beim Schließen). Ein zu leises Feedback scheint diese Erwartung nicht zu erfüllen. Die Gründe für die Abwertung zu lauter Geräusche kann man in den Merkmalspaarungen hart-weich suchen. So besteht ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Pegel und dem Itempaar hart-weich. Aus der direkten Gegenüberstellung kann man entnehmen, dass es wiederum ein Optimum in der Weichheit gibt. So beurteilen die Probanden zu weiche Geräusche schlechter, als solche mit der Härteausprägung fünf (Abbildung 2).

Das ein optimaler Pegel existiert, ist auch aus den Hörversuchen, welche ausschließlich zum Pegel durchgeführt wurden, ersichtlich. Dabei unterscheiden die Probanden nicht nach Charakter des Geräusches. Zählt man die Ausprägungen etwas zu leise und etwas zu laut zu

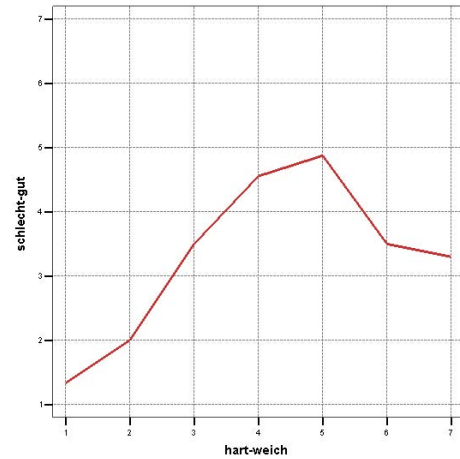


Abbildung 2: Zusammenhang den Itempaaren hart-weich und schlecht-gut.

dem optimalen Wert genau richtig dazu, ergibt sich beim Öffnen ein geringfügig niedrigerer Pegelbereich, als beim Schließen (Abbildung 3).

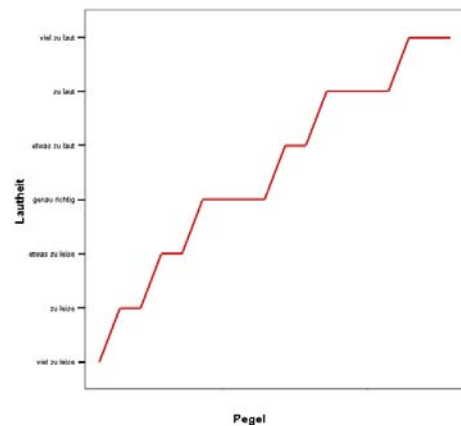


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Pegel und Lautheitseindruck beim Öffnen.

Dieses Ergebnis passt zur Einschätzung des optimalen Türgeräusches aus den Umfragen. Auch hier sollte das Öffnungsgeräusch etwas leiser sein, als das des Schließens.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Türgeräusch im Wesentlichen mit 6 Faktoren beschrieben ist. Außerdem hat der Pegel maßgeblichen Einfluss auf die Beurteilung zu gut-schlecht. Hier kann man eine Art Optimum herauslesen, da weder ein zu lautes noch ein zu leises Geräusch als optimal empfunden wird. Der akzeptierte Pegelbereich ist vom Geräuschcharakter unabhängig und liegt beim Schließen geringfügig höher, als beim Öffnen. Des Weiteren werden bei der Definition des optimalen Geräusches Unterscheidungen zwischen Öffnen und Schließen sowie zwischen den Fahrzeugtypen Sportwagen und Limousine des Premium-Segmentes vorgenommen.