

Wahrnehmung von singulären, impulshaften Geräuschen im Fahrzeug

Marius Höchstetter¹, Ulrich Gabbert², Jesko L. Verhey³, Jan-Michael Sautter⁴

¹ BMW AG, 80788 München, E-Mail: marius.hoehstetter@bmw.de

² Institut für Mechanik, Otto-von-Guericke-Universität, Universitätsplatz 2, 93106 Magdeburg, E-Mail: ulrich.gabbert@ovgu.de

³ Abteilung für Experimentelle Audiologie, Otto-von-Guericke-Universität, Leipziger Str. 44, 39120 Magdeburg, E-Mail: jesko.verhey@med.ovgu.de

⁴ BMW AG, 80788 München, E-Mail: jan-michael.sautter@bmw.de

Einleitung

Am Fahrzeug ruft die manuelle Bedienung funktionaler Elemente vorrangig singuläre Geräusche hervor. Sie informieren die Beteiligten über die technische Qualität und dokumentieren eine bewusst ausgeführte Aktion. Damit einhergehend wird auf Basis der individuellen Erwartungshaltung ein subjektives Urteil gefällt. Impulshafte Schalle im Stillstand stehen besonders im Fokus, da maskierende Effekte weitestgehend entfallen. Weisen diese eine hohe Wertigkeit auf, tragen sie positiv zur Wiedererkennung einer Marke und zur Zufriedenheit der Kunden bei. Um eine optimierte auditive Wahrnehmung in den Entwicklungsprozess zu integrieren, wird die Ableitung von objektiven Parametern zur Vergabe von Zielen notwendig.

Die innerhalb der BMW Group abgehaltene Studie führt zu einer intervallskalierten Rangfolge. Darin abgebildete Muster verschiedener Merkmale können anhand objektiver Parameter identifiziert werden. Sie kategorisieren das subjektive Urteil des Menschen gegenüber akustisch wohlklingenden Ausprägungen [1]. Für das Fahrzeug ergeben sich somit prüfbare Kennwerte, deren auditive Eigenschaften auf der individuellen Kundenmeinung beruhen.

Methodischer Ansatz

Am Beispiel des Verriegelgeräusches von Fahrzeugtüren verfolgt dieser Versuch das Ziel einer objektiven Prognose der wahrgenommenen Wertigkeit. Letztere stellt eine Qualität dar, die mittels kardinaler Skala nicht direkt messbar ist [2]. Einen methodischen Ansatz bietet der Paarvergleich, welcher die Bewertung der Schalle relativ zueinander ermöglicht. Über deren Rangfolge entscheidet die Häufigkeit, mit der Probanden einen Stimulus einem anderen vorziehen. Berechnet nach dem Modell von Bradley, Terry und Luce (BTL-Modell) [2] erfolgt eine Transformation auf Basis einer Dominanzmatrix. Das Gerüst des Hörversuchs bilden acht Geräusche, die die Konzentrationsfähigkeit durch Ermüdung nicht gefährden.

Anhand einer multiplen Regressionsanalyse werden die Parameter getrennt nach physikalischer und hörakustischer Zugehörigkeit modelliert. Da natürliche Schalle zu Grunde liegen, erweist sich die kombinierte Metrik als vorteilhaft. Im Fokus eines qualitativen Vergleichs beider Ansätze steht die Auswahl zueinander möglichst äquivalenter Größen. Diese setzen reliable und valide Daten voraus, welche auf nicht individuell vom Urteiler verzerrten Ergebnissen beruhen. Damit einhergehend fällt die Wahl auf ein

geeignetes Versuchsdesign, in dem das akustische Sinnesmerkmal vom haptischen und optischen abgekoppelt stimuliert wird.

Stimuli

Exemplarisch für die kundenkritische Begegnung im Verkaufsraum wird das Verriegeln des Türschlosses untersucht. Aufgenommen mit Kunstköpfen in standardisierter Position, tragen die Geräusche einer realen Straßensituation Rechnung. Zudem berücksichtigt der Gesamtaufbau in einem Semi-Freifeldraum die wesentlichen interauralen Merkmale wie Pegeldifferenzen und oder Laufzeitunterschiede.

Ausgewählt nach dem Kriterium der Kontextunabhängigkeit [3], liegen 8 Fahrzeuge aus der Modellpalette der BMW Group sowie von Wettbewerbern im hochpreisigen Segment vor. Da die subjektive Wertigkeit abhängig von der Lautstärke variieren kann, findet keine Normierung der Stimuli statt.

Ergebnisse

Um eine hohe Qualität der individuellen Urteile abzusichern, muss ein Proband auf konsistentes Antworten geprüft werden. Weist sein Verhalten statistisch zu viele zirkuläre Triaden auf, verringert sich die Güte seiner Bewertung. Eine zu große Anzahl dieser intransitiven Entscheidungen führt zum Ausschluss. Inkonsistente Teilnehmer werden mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ anhand des χ^2 -Tests nicht in die Wertung aufgenommen [4].

Physikalischer Ansatz:

Unabhängig vom menschlichen Empfinden lassen sich die physikalischen Parameter häufig direkt messen. Zu den ermittelten Größen zählen neben dem Schalldruck und dem Gradienten des Druckanstiegs der zeitliche und frequenzabhängige Schwerpunkt. Weiterhin wurde die Lautstärke separiert nach nieder- und hochfrequenten Bereichen näher untersucht.

Letztere weisen gemeinsam mit dem zeitlichen Schwerpunkt ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,92$ aus. Der korrigierte Wert R^2_{adj} befindet sich auf identischem Niveau. Durch die statistischen Methoden des t-Tests und des F-Tests bewertet, gilt der hypothetisch postulierte Zusammenhang als signifikant. Ein Vergleich der subjektiv wahrgenommenen Wertigkeit mit der rechnerisch prognostizierten zeigt Abbildung 1.

Psychoakustischer Ansatz:

Aus der Beziehung zwischen physikalischen Schallereignissen und davon abhängiger menschlicher Empfindung resultieren hörakustische Größen. Die Auswahl der Parameter konzentriert sich auf Lautheit und Schärfe. Im Fokus stand die Anwendung auf nicht stationäre Geräusche, deren Eigenschaften durch geeignete Software berücksichtigt wurde [5]. Auf Grund der kommunizierten Antworten der Hörversuche führt die Entwicklung einer

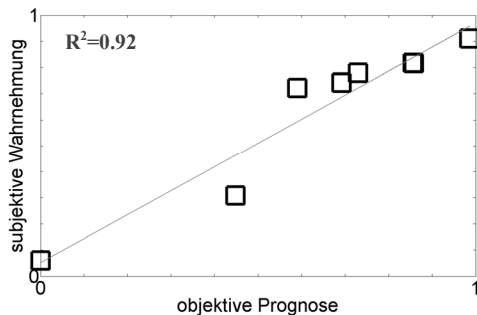


Abbildung 1: Prognose der subjektiv empfundenen Wertigkeit anhand physikalischer Parameter

Zwischengröße zu einer hohen Korrelation. Sie ergibt sich aus der zeitlichen Analyse der Schärfe und greift die von den Probanden angesprochene Weichheit eines Geräusches auf. Parallel dazu werden der durch eine A-Bewertung überlagerte frequenzabhängige Schwerpunkt sowie die den physikalischen Terzbereichen entsprechenden Barkbänder analysiert. Die Untersuchung tonaler oder rauher Effekte erweist sich auf Grund der Geräuschcharakteristik als nicht zielführend.

Abbildung 2 zeigt die Regressionsdarstellung basierend auf den Größen der Lautheit und der Schärfe. Die multiplen Regressionskoeffizienten zeigen identische Werte auf, für R^2

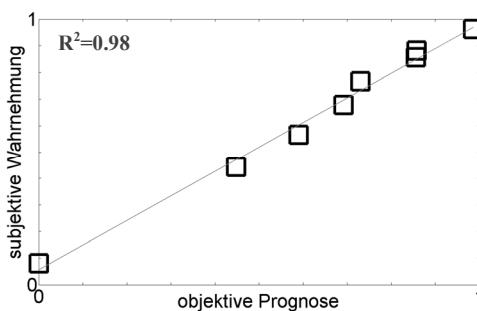


Abbildung 2: Prognose der subjektiv empfundenen Wertigkeit anhand psychoakustischer Parameter

ergibt sich 0,98 als Kennwert. Die thematisierten statistischen Verfahren weisen auf eine hohe Signifikanz hin.

Ergebnisdiskussion

Mit möglichst äquivalenten physikalischen und hörakustischen Parametern prognostiziert der psychoakustische Ansatz die Wertigkeit von Verriegelgeräuschen mit höherer erklärter Varianz. Beiden Verfahren gemein ist die Identifikation einer Zwischengröße, die stark mit dem Wert des Stimulus korreliert. Zurückzuführen sind sie jeweils auf den

Energieeintrag, der im Rahmen der kognitiven Verarbeitung wahrgenommen wird. Physikalisch steht hierfür die frequenzabhängige Lautstärke. Hörakustisch entspricht die Dauer der Schärfe dieser Grundlage.

Die Wertigkeit eines impulshaften Verriegelgeräusches wird durch eine definierte Differenz in der Ausprägung nieder- und hochfrequenter Energie bestimmt. Liegt ein repräsentativer Unterschied vor, stellt sich die Akzeptanz als positiv heraus. Beide Modelle weisen für sich Parameter auf, welche dieses Kriterium mit einbeziehen. Die Korrelation der auf der Lautstärke basierenden Größen deutet auf die in der Wahrnehmung singular impulshafter Schalle fehlende Vorspannung des Gehörs hin.

Weiterhin beschreibt die Wertigkeit ein in hohem Maße individuell geprägtes Meinungsbild, verbunden mit erfahrungsbasierter Verarbeitung. Dies würde die höhere erklärbare Varianz hörakustischer Größen erklären. Dort setzt sich die zu Grunde liegende psychometrische Messung mit dem Mensch als Messgerät auseinander.

Ausblick

Weitere Untersuchungen streben eine Generalisierung der aufgestellten Hypothesen an. Zum einen gilt es, die aufgestellte Rangfolge der verwendeten Stimuli mittels absoluter Bewertungsmethoden zu überprüfen. Weiterhin sollen die korrelierenden Größen durch zusätzliche Hörversuche verifiziert werden.

Exemplarisch erfolgt eine Ausweitung auf ebenfalls fahrzeuggestützte Geräusche aus dem Bereich der Türen und Klappen. Mit ihnen wird das Ziel verfolgt, charakteristische Parameter zu bestätigen und final in ein Lastenheft zu integrieren. Hieraus resultiert eine objektive und seriennahe Prüfung sämtlicher singular impulshafter Schalle, deren Wertigkeit auf der tatsächlichen Kundenwahrnehmung basiert.

Literatur

- [1] Terhardt, E. Und Stoll, G.: Skalierung des Wohlklangs von 17 Umweltschallen und Untersuchung der beteiligten Hörparameter. *Acustica* 48 (1981), 247-253
- [2] Sixtl, F.: *Meßmethoden der Psychologie*. Verlag Julius Beltz, Weinheim, 1967
- [3] Luce, R. D.: The Choice Axiom after Twenty Years. *Journal of Mathematical Psychology*, 15:215–233, 1977
- [4] Bortz, J. und Döring, N.: *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2006
- [5] Chalupper, J. und Fastl, H.: Dynamic Loudness Model (DLM) for Normal and Hearing-Impaired Listeners. *Acta Acustica united with Acustica* 88 (2002), 378-386