

Objektivierung subjektiver Fahreindrücke – Methodik und Anwendung - Benchmarking der Leerlaufgeräuschqualität von Personenkraftwagen -

Klaus Becker¹, Michael Haal²

Institut für Fahrzeugtechnik, Fachhochschule Köln, 50679 Köln, Deutschland,
Email: ¹klaus.becker@fh-koeln.de, ²michael.haal@imail.de

Einleitung

Die Objektivierung subjektiver Fahreindrücke ist eine komplexe Aufgabe, deren Umsetzung einen erheblichen Aufwand bedeutet. In vielen Fällen basieren entsprechende Untersuchungen auf kleinen Fallzahlen und der grundsätzliche Weg ist selten systematisch und umfassend dargestellt.

In dieser Arbeit soll der gesamte Prozess von der Datenerfassung über die subjektive Beurteilung, der Berechnung objektiver Kennwerte bis zur Korrelation mittels statistischer Verfahren systematisch beschrieben und dokumentiert werden. Die Anwendung erfolgt im Rahmen eines Projektes zur Beurteilung der Leerlaufgeräuschqualität von Personenkraftwagen [2].

Datenaufnahme

Die Analyse umfasst insgesamt 26 Personenkraftwagen mit Benzinmotoren, vom Kleinwagen bis zur oberen Mittelklasse. Dabei sind überwiegend 4-Zylinder-Motoren enthalten. Es werden binaurale Innengeräuschaufnahmen bei verschiedenen Lastzuständen im Leerlauf durchgeführt. Der Großteil der Aufnahmen findet an Neufahrzeugen in Verkaufsräumen und Werkstätten statt. Es wird darauf geachtet, dass die Umgebungsgерäusche weit unterhalb der aufgezeichneten Leerlaufgeräusche liegen.

Subjektive Beurteilung

Zur subjektiven Beurteilung der Geräuschaufnahmen werden insgesamt 70 Versuchspersonen befragt. Diese decken altersmäßig den Bereich von 18 bis über 70 Jahre (Median 32 Jahre) ab. Es nehmen 48 Männer und 22 Frauen an der Befragung teil. Die Beurteilung erfolgt im Fahrzeuginnern von Personenkraftwagen der Mittelklasse durch Wiedergabe der binauralen Geräuschaufnahmen über eine 24-bit-Soundkarte und hochwertige geschlossene Kopfhörer.

Die 26 Hörproben von jeweils acht Sekunden sind durch Pausen von jeweils 20 Sekunden getrennt. Die Beurteilung der Hörproben orientiert sich an der „Random-Access-Methode“. Die Versuchspersonen können sich die Hörproben in einer beliebigen Reihenfolge und beliebig oft anhören. Im ersten Schritt werden die Versuchspersonen aufgefordert, die Hörproben in die drei Rubriken „gut“ – „mittel“ – „schlecht“ zu gruppieren. Anschließend erfolgt durch nochmaliges Anhören gruppenweise die Zuordnung von Noten aus einer Skala von 1 – 10 nach VDI-Richtlinie 2563. Die Dokumentation der Versuchsergebnisse erfolgt durch den Versuchsleiter, um die Versuchspersonen zu entlasten.

Die zusammenfassende Darstellung der subjektiven Beurteilungen aller 70 Versuchspersonen für alle 26 Fahrzeuge (= 1820 Urteile) in Abbildung 1 zeigt, dass bei einigen Fahrzeugen von den Versuchspersonen die gesamte Notenskala von 1 bis 10 ausgenutzt wird. Bei anderen Fahrzeugen liegen dagegen 50 % der Urteile im Bereich von einer bis eineinhalb Noten. Zur Verbesserung der Qualität der Eingangsdaten werden daher die Ausreißer ($> \pm 1,5 \cdot$ interquartiler Bereich) für die weitere Auswertung entfernt.

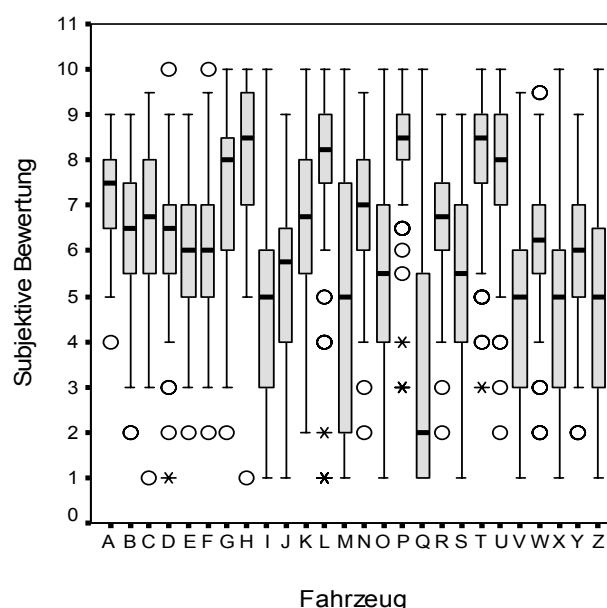


Abbildung 1: Subjektive Urteile bezüglich der Leerlaufgeräuschqualität von 70 Versuchspersonen für 26 Personenkraftwagen

Zur weiteren Analyse werden Clusteranalysen bezüglich der Gruppierung nach

- Testpersonen und
- Fahrzeugen

durchgeführt. Als Verfahren kommt die Methode nach Ward mittels L_2 -Norm zum Einsatz, da hier in den meisten Fällen sehr gute Partitionen und die richtige Clusterzahl gebildet werden [1]. Als Basis werden die standardisierten Noten eingesetzt, da die Testpersonen die vorgegebene Notenskala unterschiedlich ausnutzen. Die standardisierten Noten entsprechen einer Verteilung um den Mittelwert 0 mit der Standardabweichung 1.

Die Clusteranalysen ergeben an Hand der Dendrogramme, dass sich die Testpersonen in drei Gruppen mit ähnlichem Beurteilungsverhalten gruppieren lassen. Gleiches zeigt sich für die Fahrzeuge. Hier lassen sich ebenfalls drei Gruppen mit ähnlichem Verhalten identifizieren.

Insgesamt zeigen die Versuchspersonen ein großes Interesse für die Teilnahme an einer solchen Beurteilung. Allerdings stellt sich auf Grund der großen Anzahl von Hörproben eine Ermüdung der Testpersonen ein. Die großen Streuungen bei einigen Fahrzeugen lassen sich durch Rückfragen auf die unterschiedlichen Erwartungshaltungen bezüglich der Leerlaufgeräuschqualität von Personenkraftwagen zurückführen. Anzumerken bleibt noch, dass zur Vermeidung der Verschlechterung der Luftqualität im Fahrzeuginnenraum im Laufe der Versuchsdurchführung Lüftungsphasen vorzusehen sind.

Objektive Beurteilung

Zur objektiven Beurteilung werden für die aufgenommenen binauralen Hörproben mittels des binaurales Auswertesystems ArtemiS diverse Auswerteparameter berechnet. Für mehr als 26 Auswerteparameter wie Lautheit, Pegel mit verschiedenen Wichtungen, Terzspektrum werden bis zu zehn Kennwerte wie Minimalwert, Maximalwert, RMS-Wert berechnet. Insgesamt stehen somit pro Hörprobe 670 objektive Kennwerte zur Verfügung.

Korrelation objektiv - subjektiv

Die Korrelation zwischen den subjektiv ermittelten Noten und den objektiven Kennwerten erfolgt zunächst mittels Multipler Linearer Regression (MLR). Beginnend mit 670 Kennwerten wird durch schrittweise Regression mit „Forward“-Selection eine Auswahl der Regressoren mit den höchsten Korrelationskoeffizienten durchgeführt.

Als Regressoren ergeben sich aus der Grundmenge der 670 Kennwerte bei einem Korrelationskoeffizienten von $r^2 = 0,89$:

- x_1 Arithm. Mittelwert des Terzspektrums in dB(A)
- x_2 Maximalwert des Levels im mittleren Frequenzbereich (125 Hz bis 630 Hz) in dB
- x_3 Arithm. Mittelwert des Hochfrequenzfaktors (Diff. aus A-bew. Pegel und Speech Interference Level)
- x_4 Minimalwert des Levels im mittleren Frequenzbereich (125 Hz bis 630 Hz) in dB

Die Prüfung dieses Ergebnisses bezüglich

- Regressionsgleichung mittels F -Test
- Regressionskoeffizienten mittels t -Test
- Linearität des Modells mittels
 - + Streuung der Residuen als Normalverteilung
 - + Heteroskedastizität (Zusammenhang zwischen standardisierten Residuen und standardisierten Noten)

zeigt positive Ergebnisse. Der hohe Korrelationskoeffizient kann allerdings darin begründet sein, dass die Regressoren voneinander linear abhängig sind. Daher werden in einem weiteren Schritt durch Anwendung der Hauptkomponentenanalyse linear unabhängige Faktoren auf Basis der oben dargestellten Regressoren ermittelt.

Durch Kombination der vier ausgewählten Regressoren wird bereits mit einem Faktor ein Regressionskoeffizient von $r^2 = 0,88$ erreicht.

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse nach Einführung des 95 %-Prognoseintervalles für die auf Basis der objektiv ermittelten Noten zusammenfassend dargestellt.

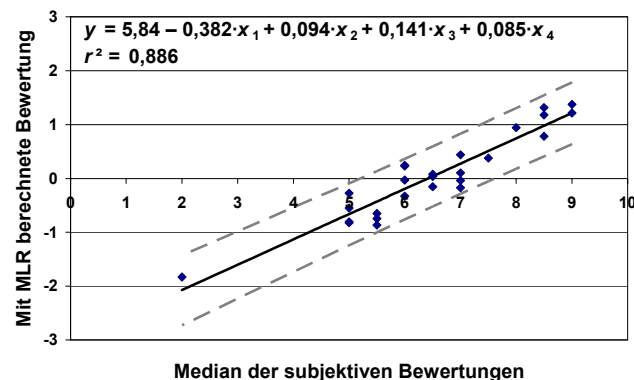


Abbildung 2: Vergleich der mittels MLR berechneten normierten Noten mit den subjektiv ermittelten Noten

Zusammenfassung

Der prinzipielle Weg zur Objektivierung subjektiver Fahrindrücke wird systematisch beschrieben. Der Einsatz statistischer Verfahren führt zu einer Verbesserung der Qualität der Eingangsdaten. Durch Anwendung von Multipler Linearer Regression und Hauptkomponentenanalyse wird die Korrelation zwischen den subjektiven und den objektiven Daten untersucht. Letztendlich bleibt ein breiter Spielraum für die Interpretation der Ergebnisse, da bereits leichte Änderungen bei den Eingangsdaten zu anderen Ergebnissen bei der Auswahl der relevanten Regressoren führen.

Es bleibt festzustellen, dass unter anderem auf Grund der großen Streuung der subjektiven Urteile durch normale Kunden die Objektivierung subjektiver Fahrindrücke sich nur für spezielle Fälle realisieren lässt. Bei dem erforderlichen Einsatz statistischer Verfahren sind Plausibilitätsprüfungen dringend angeraten, um die Stabilität der gefundenen Ergebnisse sicher zu stellen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich an dieser Stelle für die freundliche Unterstützung des Projektes bei der Ford-Werke GmbH, HEAD acoustics GmbH, Carcoustics Tech Center GmbH sowie mehreren Autohäusern.

Literatur

- [1] Backhaus, K. et al.: *Multivariate Analysemethoden*. Berlin : Springer, 2000
- [2] Haal, M.: *Objektivierung des subjektiven Geräuscheindruckes der Leerlaufgeräusche von Personenkraftwagen*. Diplomarbeit. Institut für Fahrzeugtechnik. Fachhochschule Köln, 2004