

Hauptdimension der Dieselgeräusch-Wahrnehmung

R.Heinrichs, U.Grömping

Ford Werke AG, Acoustic Centre Cologne (ACC), Spessartstr., 50725 Köln, Germany

Einleitung

In den letzten Jahren nimmt die Akzeptanz von Dieselfahrzeugen in Europäischen Ländern signifikant zu. Wurden solche Fahrzeuge in der Vergangenheit aufgrund ihres oftmals negativen Images (zu laut, stinken, schwarze Rußwolke, etc.) lediglich von einer begrenzten Minderheit akzeptiert, hat sich dieses Image nicht zuletzt durch die Fortschritte in ihrem akustischen Verhalten deutlich verbessert. Kundenaussagen zur Folge spielt neben dem höheren Pegel vor allem die sogenannte "Nageligkeit" eine entscheidende Rolle, die zu der meist negativen Assoziation - Dieselfahrzeug - führt. In diesem Beitrag sollen Dieselfahrzeuge in bezug auf ihr akustisches Verhalten in verschiedenen Betriebszuständen näher beleuchtet werden. Intention ist es hierbei die Wahrnehmungsrelevanten Hauptdimensionen zu ermitteln.

Labor und Feldexperiment

Es wurden, sowohl reale Fahrversuche wie auch Laborexperimente durchgeführt. An beiden Experimenten nahmen insgesamt 12 Probanden teil. Hierbei wurden 8 Fahrzeuge, 7 Dieselfahrzeuge und ein Benzinerfahrzeug beurteilt (Fahrzeug 1 - 8).

Sowohl in den Feld-, wie auch in den Laborexperimenten wurden absolute Beurteilungen auf einer bipolaren 5er Skala vorgenommen. Bei den Laborexperimenten wurden die Stimuli in einem ruhigen Raum über hochwertige Kopfhörer dargeboten. In den Feldversuchen notierte der Beifahrer seine eigenen wie auch die Beurteilungen des Fahrers in den jeweiligen Fahrsituationen. Um einen repräsentativen akustischen Gesamteindruck von den Fahrzeugen zu erhalten wurden speziell für das Feldexperiment unterschiedliche Fahrsituationen ausgewählt:

- 2. Gang Vollgas
- 2. Gang Teilgas
- Leerlauf im warmen Fahrzeugzustand
- Leerlauf im kalt Fahrzeugzustand
- Konstante Geschwindigkeit 50 km/h
- Ampelstart
- 2. Gang moduliert um 30 km/h

Der Ampelstart stellt hierbei im Vergleich zu den, in der Fahrzeugindustrie üblicherweise angewandten Fahrsituation 2. Gang Vollgas und 2. Gang Teilgas eine sehr realitätsnahe Situation dar, die auch im täglichen Straßenverkehr häufig anzutreffen ist. Hierbei wird das Fahrzeug moderat bis zu einer Drehzahl von 2500 U/min beschleunigt und derart aus dem Stillstand durch die ersten 3 Gänge bewegt.

Im Laborexperiment wurden zu Vergleichszwecken alle Fahrsituationen des Feldexperimentes dargeboten. Bei den Ergebnissen wird allerdings lediglich der Fahrzustand Leerlauf im warmen Betriebszustand im Detail diskutiert. Insgesamt wurden die 12 Attribute Consistency, Refinement, Timbre, Dieselness, Audibility, Loudness, Throatyness, Powerfulness, Sportivness, Temptation, Comfort und Acoustical DQ (Driving Quality) beurteilt.

Ergebnisse Feldexperiment

Mittels ANOVA kann gezeigt werden das alle Ergebnisse statistisch bedeutungsvoll sind und das die Ergebnisse in den Unterschieden der Fahrzeuge begründet sind. Damit kann das Testdesign als robust und die Ergebnisse als verlässlich ($R^2 = 0.8$) bezeichnet werden. In Abb.1 sind die über alle Fahrsituationen des Feldexperimentes gemittelten sensorischen Profile der 8 Fahrzeug-

ge dargestellt. Hierbei sind zwei Fahrzeuge in fetter Strichführung erkennbar. Es handelt sich dabei zum einen um ein Benzinerfahrzeug (Fahrzeug 1), welches sich durch einen hohen akustischen Komfort, durch eine geringe Lautheit, eine hohe Konsistenz, kaum vorhandenes Dieselnageln und ein hohes Refinement auszeichnet. Zum anderen wird ein typisches Dieselfahrzeug (Fahrzeug 8) der älteren Generation, mit ausgeprägtem Dieselnageln hoher Lautheit, geringem Komfort und kaum vorhandenem Refinement in heller, fetter Strichführung dargestellt. Es ist ebenso zu erkennen das bezüglich des Attributes Dieselnageln die Spanne

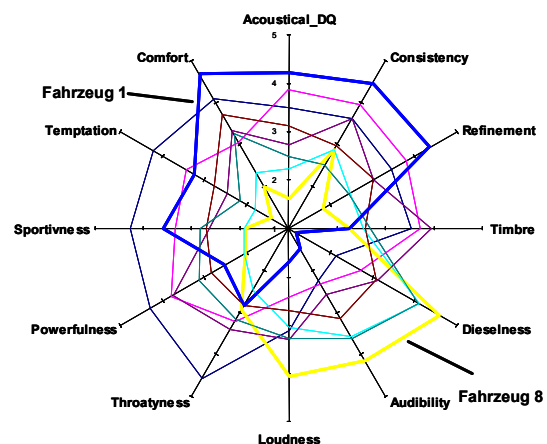


Abb.1 Über alle Fahrsituationen gemittelte sensorische Profile von 8 Fahrzeugen

von benzinerähnlich bis dieseltypisch reicht. Es ist weiterhin zu erkennen das es solche Dieselfahrzeuge gibt deren Motorsound als sehr sportlich empfunden wird wie auch solche bei denen kaum Sportlichkeit wahrgenommen wird.

Eine Hauptkomponentenanalyse mit anschließender Varimax Rotation brachte 2 signifikante Faktoren hervor. Zusammen erklären diese beiden Faktoren mehr als 80% der Beurteilungsvarianz. In Abb.2 sind die beiden Faktoren, die eindeutig als Angenehmheit (Faktor 1) und Kraftfülle (Faktor 2) interpretiert werden können dargestellt. Grau dargestellt ist das Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse, schwarz das Ergebnis nach der Rotation. Hierbei wurden 16 Objekte betrachtet, jeweils 8 Fahrzeuge für die Fahrer und Beifahrerseite. Es kann vorweg genommen werden das sich beide Sitzpositionen in ihrer Beurteilung kaum unterscheiden. Die in der Literatur in bezug auf Benzinerfahrzeuge immer wieder berichteten Hauptdimensionen Komfort und Sportlichkeit werden somit auch bei Dieselfahrzeugen gefunden. Der Faktor 2 wird bei Dieselfahrzeugen allerdings besser als Kraftfülle interpretiert.

Nach der Faktorenanalyse ist zu erkennen das dem Benzinerfahrzeug (Fahrzeug 1) ein sehr angenehmer Sound der allerdings nicht als kraftvoll empfunden wird zugewiesen wird. Fahrzeug 3 hingegen wird als äußerst kraftvoll empfunden weist allerdings nur einen mittelmäßig angenehmen Sound auf. Das klassische alte Dieselfahrzeug (Fahrzeug 8) wird weder als angenehm noch kraftvoll empfunden.

Eine anschließend durchgeführte Clusteranalyse, ebenfalls über alle Fahrsituationen, teilt die Fahrzeuge deutlich in solche ein die als typische Diesel (Fahrzeug 5,7,8) und typische Benzinerfahrzeuge (Fahrzeug 1,2,3) betrachtet werden (Abb.3).

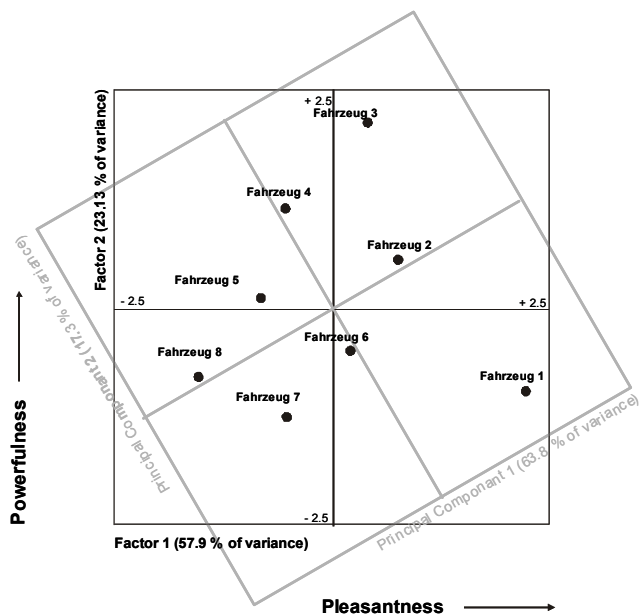


Abb.2 Hauptkomponentenanalyse (grau) mit anschließender Varimaxrotation (schwarz)

Bei genauerer Betrachtung der Korrelationsmatrix und Faktorladungen der einzelnen Attribute wird deutlich, welche akustischen Eigenschaften ein dieselartiges Fahrzeug ausmachen. Dieselfahrzeuge sind im allgemeinen solche Fahrzeuge denen eine hohe Lautheit und ein deutlich ausgeprägtes Dieselnageln so wie eine deutliche Motorpräsents (Audibility) attestiert wird.

Ergebnisse Laborexperiment

Aus dem Laborexperiment sollen hier nur auszugsweise die Ergebnisse zu Vergleichszwecken diskutiert werden. In diesem Zusammenhang wird sich lediglich auf die Fahrsituation - Leerlauf im warmen Fahrzeugzustand - konzentriert.

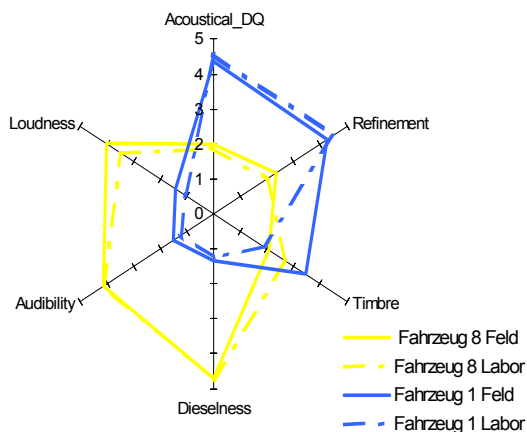


Abb. 4 Vergleich der Feld- und Laborbeurteilung

Desweiteren werden nur die beiden extrem Beispiele, Fahrzeug 1 (Benziner) und Fahrzeug 8 (altes Dieselfahrzeug) miteinander verglichen. In Abb. 4 fällt auf das bis auf das Attribut "Timbre" alle anderen abgefragten Attribute sehr ähnlich beurteilt werden. Eine Hypothese zu den Unterschieden in der Klangfarbenbeurteilung rekrutiert sich aus den im Labor fehlenden Vibrationsanteilen. Diese werden im Feld vermutlich eine eher etwas dunklere Klangfarbenwahrnehmung unterstützten (Fahrzeug 1).

Eine Hauptkomponentenanalyse der Fahrsituation Leerlauf bringt nur einen signifikanten Faktor hervor, welcher als Angenehmheit interpretiert werden kann.

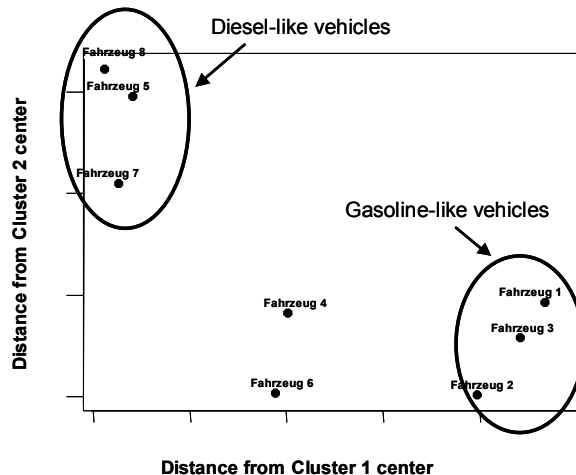


Abb.3 Eine Cluteranalyse über alle Fahrsituationen unterscheidet dieselähnlichen von benzinerähnlichen Fahrzeugen

Es zeigt sich auch in der Leerlaufsituation, welche von den Kunden als eine der wichtigsten Fahrsituationen in bezug auf das Dieselnageln betrachtet wird, das ein typisches Dieselfahrzeug ausgeprägtes Dieselnageln aufweist und eher lauter ist. Das spiegelt sich auch gut in der oftmals sehr hohen negativen Faktorenladung von Dieselness wider. Dieselnageln spielt demnach hierbei eine der Hauptursachen für die weniger angenehme Empfindung. Allerdings sind modernere Dieselfahrzeuge in dieser Hinsicht mittlerweile deutlich verbessert worden (s. Fahrzeug 2, 3).

Weiterhin kann allgemein festgestellt werden das sich die Ergebnisse der Feldexperimente auch bei den anderen Fahrsituationen im Labor recht gut reproduzieren lassen, wobei sich jedoch ein genereller Trend abzuzeichnen scheint. Bei komplexeren Fahrsituationen, speziell bei solchen bei denen sich Handlungszusammenhänge auch durch akustische Änderungen bemerkbar machen, können die Laborergebnisse von denen der Feldexperimente abweichen. Bei den hier angewandten Fahrsituationen trifft das beispielsweise für den Ampelstart zu, der durch das Beschleunigen mit anschließenden Schaltvorgängen einen solchen aktiven Eingriff darstellt.

Zusammenfassung

In den letzten Jahren nehmen die Zulassungszahlen von Dieselfahrzeugen stetig zu und liegen in Europa mittlerweile bei durchschnittlich 40%. Das alte Image, des stinkenden, lauten und nageiligen Dieselfahrzeugs ist in die Jahre gekommen. Die Emissionswerte sowie die Lautstärke dieser Fahrzeuge wurde in den letzten Jahren kontinuierlich verbessert. In diesem Beitrag konnte gezeigt werden das bei den meisten Fahrsituationen zwei akustische Hauptdimensionen der Wahrnehmung existieren, Faktor 1 (angenehm) und Faktor 2 (kraftvoll). In der Leerlaufsituation wurde lediglich ein signifikanter Faktor (angenehm) gefunden. Kraftfülle spielt in dieser Fahrsituation keine Rolle. Dieselnageln hingegen kann als Hauptursache für ein wenig angenehmes Dieselfahrzeuggeräusch betrachtet werden.

Literatur

Takao, H., Hashimoto, T.: Die subjective Bewertung der Innengeräusche im fahrenden Auto- Auswahl der Adjektivpaare zur Klangbewertung mit dem Semantischen Differential. Zeitschrift Lärmbekämpfung 41, Springer Verlag, 1994