

# Qualitative Beurteilung psychoakustischer Parameter zur Geräuschbewertung von elektrisch verstellbaren Lenksäulen im Pkw

Tillmann Henschke<sup>1</sup>, Martin Fischer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> thyssenkrupp Presta AG, 9492 Eschen (Liechtenstein), E-Mail: [tillmann.henschke@thyssenkrupp.com](mailto:tillmann.henschke@thyssenkrupp.com)

<sup>2</sup> thyssenkrupp Bilstein GmbH, 58256 Ennepetal, E-Mail: [martin.fischer1@thyssenkrupp.com](mailto:martin.fischer1@thyssenkrupp.com)

## Einleitung

Der Einfluss der Geräuschqualität auf die Produktwahrnehmung gewinnt insbesondere in der Automobilbranche zunehmend an Bedeutung. Dieser Umstand wird zukünftig u.a. durch die steigende Anzahl von elektrifizierten Fahrzeugantrieben und einem Rückgang von „klassischen“ Fahrzeugantrieben weiter ansteigen, da die maskierenden Motor- und Antriebsgeräusche im Fahrzeuginnenraum geringer werden. Dies wird zu einer Erhöhung der akustischen Anforderungen für Fahrzeuginnenraumgeräusche oder zu einer gezielten Vorgabe an die Geräuschqualität führen.

Von Kundenseite werden für akustische Anforderungen bereits häufig Schalldruck- oder Beschleunigungspegel (Maximalwert, Pegel über Zeit, Spektren usw.) als Vorgabe definiert. Teilweise erfolgt aber auch eine Überführung der Grenzwerte in psychoakustische Parameter (Lautheit, Schärfe, Rauheit, Fluktuation, Tonalität). Dies hat den Vorteil, dass die Geräuschcharakteristik hinsichtlich der Geräuschwahrnehmung besser dargestellt wird. Weiterhin geben diese Parameter einen größeren Rückschluss auf die Geräuschbelastigung im Vergleich zu Schalldruck- und/oder Beschleunigungspegeln [1]. Eine gewichtete Zusammenführung einzelner psychoakustischer Parameter zu einem Einzahlwert ist ebenfalls nicht unüblich [2-4]. Der dominante Parameter ist i.d.R. die Lautheit. Die Gewichtung der einzelnen Parameter erfolgt in Abhängigkeit des jeweiligen Produktes bzw. Anwendungsfalls, wie eine Vielzahl von Beispielen belegt [1,5-8].

Aus diesem Grund hat die thyssenkrupp Presta AG eine interne Befragung durchgeführt, um die Quantifizierung relevanter psychoakustischer Parameter an einem exemplarischen Anwendungsbeispiel grundlegend zu untersuchen. Im Fokus stand das auftretende Geräusch bei der elektromechanischen Höhen- und Längsverstellung einer Lenksäule. Dieses Geräusch wird hinsichtlich „easy-entry-functions“, „autonomous driving“ und „stowable steering columns“ zukünftig stärker in den Vordergrund treten.

## Methodik

Das reale Geräusch, welches durch eine Höhen- und Längsverstellung einer elektrisch verstellbaren Lenksäule auftritt, wurde aufgezeichnet (Referenz). Die Geräuschaufnahme erfolgte unter Laborbedingungen (reflexionsarmer Schallmessraum, Fixierung der Lenksäule mittels Prüfaufnahme in Fahrzeugeinbaulage, Fixierung der Prüfaufnahme auf Prüftisch). Das Messmikrofon war im Bereich des Fahrerohrs positioniert (siehe Abbildung 1). Die für die weiteren Untersuchungen genutzte Referenz-Soundfile ist mittels Campbell Diagramms dargestellt (siehe Abbildung 2).



Abbildung 1: Messdurchführung im reflexionsarmen Schallmessraum.

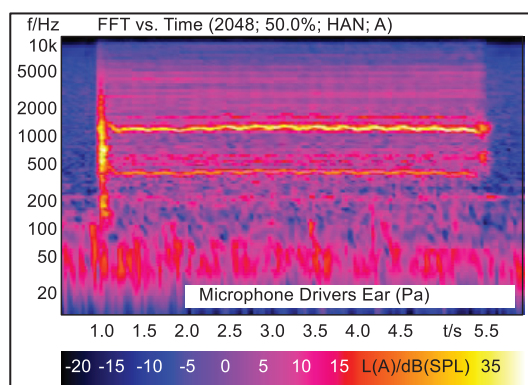


Abbildung 2: Campbell Diagramm des untersuchten Verstellgeräusches.

Die Soundfile wurde hinsichtlich deren psychoakustischer Parameter analysiert. Im Anschluss erfolgte eine gezielte Modifikation, um andere psychoakustische Parameter dominanter bzw. weniger dominanter hervorzuheben / abzuschwächen. Eine Modifikation wurde nur an jeweils einem Parameter durchgeführt (siehe Abbildung 3). Im Anschluss wurde ein Fragebogen erstellt, mit dem Probanden schnell, einfach und selbsterklärend einen Test durchführen können. Als maximales Zeitfenster für die Befragung wurden 5 Minuten vorgesehen. Der Fragebogen wird dabei neben Alter (<31, 31-40, 41-50, >50) und Geschlecht (w/m/d) auch den akustischen Hintergrund der Probanden („Bist du Musiker?“ oder „Arbeitest im Bereich der Akustik?“) erfragen. Für den Hauptteil der Befragung wurde ein Paarvergleich als Testgrundlage gewählt. Folgende Geräuschpaare wurden gebildet.

- 1: Ref. vs. Sound (So.) B; 2: Ref. vs. So. c; 3: Ref. vs. So. D;
- 4: Ref. vs. So. E; 5: Ref. vs. So. F; 6: Ref. vs. So. G;
- 7: So. B vs. So. D; 8: So. B vs. So. F; 9: So. F vs. So. D

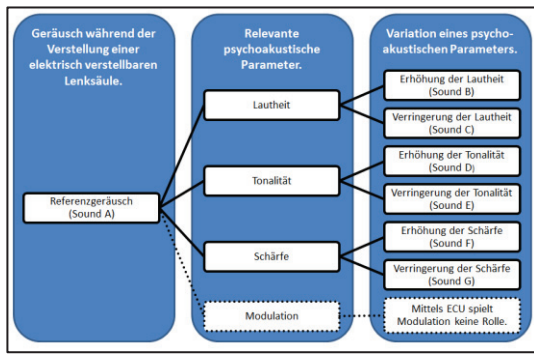


Abbildung 3: Ableitung der Soundfiles.

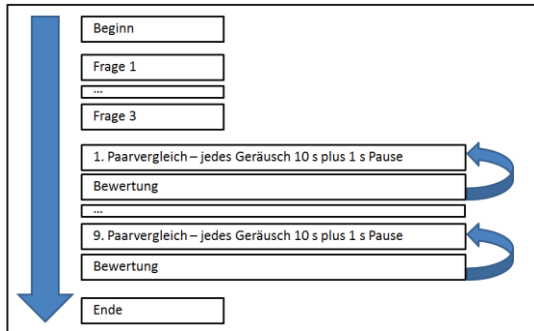


Abbildung 4: Ableitung des Befragungsschemas.

Anhand einer Eingabemaske konnten die Probanden die Geräuschpaare miteinander vergleichen und bewerten. Die Bewertungsskalierung lag zw. 1 und 7 (1 => Geräusch x ist angenehmer, 4 => beide Geräusch gleich angenehm, 7 => Geräusch y ist angenehmer). Die Reihenfolge der Geräuschpaare wurde zufällig bestimmt. Die Befragung wurde während einer Messe bei der thyssenkrupp Presta AG durchgeführt. Die Teilnahme war freiwillig.

### Ergebnisse

An den Untersuchungen haben 78 Probanden teilgenommen (w = 8; m = 70; d = 0). 56 der 78 Probanden waren keine Akustikexperten. Die Altersstruktur war wie folgt: <30 = 27; 31-40 = 37; 41-50 = 7; >50 = 7). Basierend auf einer G\*Power-Analyse [9] können die Datenmenge für die Analyse genutzt werden. Damit können sowohl die Gesamtdaten, als auch die Daten der Akustikexperten und Nicht-Akustiker miteinander verglichen werden. Auf eine Untersuchung innerhalb der Altersgruppen wird hierbei verzichtet.

Die ersten Analysen (siehe Abbildung 5-7) zeigen folgende Ergebnisse. Eine Verringerung eines psychoakustischen Parameters führt zu einer Verbesserung der Geräuscheinstufung. Im Gegensatz dazu führt eine Erhöhung eines psychoakustischen Parameters zu einer schlechteren Geräuscheinstufung. Dies wird insbesondere bei dem Parameter Lautheit deutlich. Die unterschiedlichen Interquartilsabstände (IQA) sind vermutlich durch die Deutlichkeit der Verbesserung/Verschlechterung hervorgerufen, d.h. eine größere Geräuschverbesserung führt zu einem geringeren IQA. Bei einem Vergleich zwischen den verschiedenen psychoakustischen Parametern untereinander (siehe Abbildung 8) wird ersichtlich, dass die Soundfile B schlechter als die Soundfiles mit erhöhter Schärfe und Tonalität bewertet

worden. Dies war anhand der vorhergehenden Ergebnisse zu erwarten. Die Unterschiede zwischen Schärfe und Tonalität waren marginal.

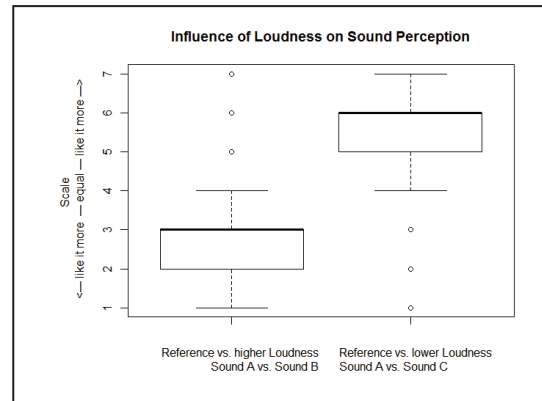


Abbildung 5: Vergleich Lautheitsbeispiele; Mittelwert: Sound A vs. Sound B = 2,8; Sound A vs. Sound C = 5,4

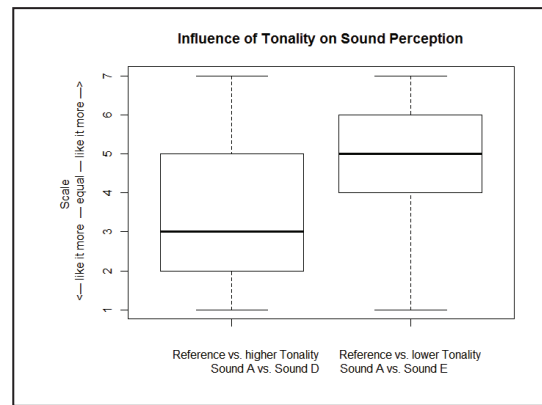


Abbildung 6: Vergleich Tonalitätsbeispiele; Mittelwert: Sound A vs. Sound D = 3,7; Sound A vs. Sound E = 4,6

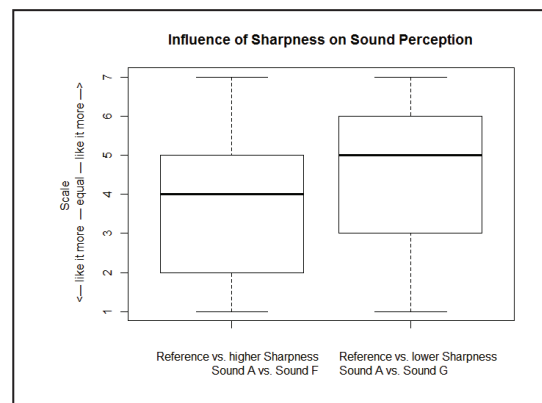
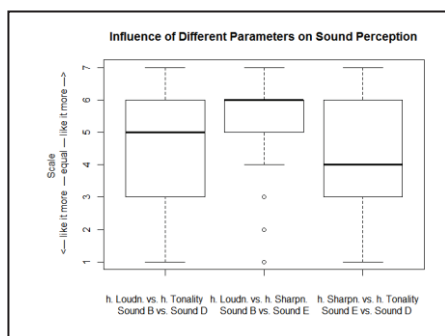
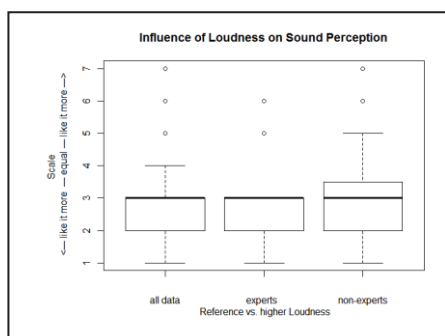


Abbildung 7: Vergleich Schärfebeispiele; Mittelwert: Sound A vs. Sound F = 3,5; Sound A vs. Sound G = 4,8

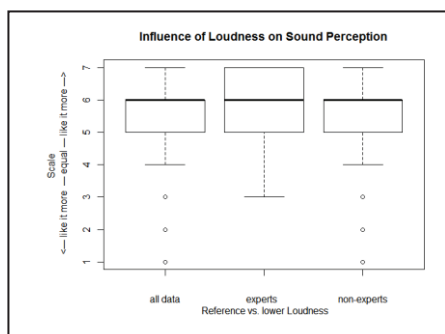


**Abbildung 8:** Vergleich Untereinander; Mittelwert: Sound B vs. Sound D = 4,4; Sound B vs. Sound E = 5,2; Sound E vs. Sound D = 4,0

Bei einer Separierung der Daten in Akustikexperte und Nicht-Akustiker zeigt deutlich große Ähnlichkeiten auf (siehe Abbildung 9-10). Der arithmetische Mittelwert ist bei den Akustikexperten allerdings geringfügig stärker in die zu erwartende Richtung/Tendenz ausgeprägt. Weiterhin konnte erfasst werden, dass die Messausreißer bei den Akustikexperten deutlich weniger vorzufinden waren als bei den Nicht-Akustikern. Diese generellen Erkenntnisse konnten auch bei allen weiteren Geräuschbeispielen (abgesehen von Sound F vs. Sound D) festgestellt werden. Im Anschluss erfolgte eine Signifikanzanalyse zwischen Akustikexperten und Nicht-Akustikern. Hierzu wurde ein U-Test angewandt, da die Messdaten nicht normal verteilt waren (Shapiro-Wilk-Test). Keine signifikanten Unterschiede wurden festgestellt.



**Abbildung 9:** Vergleich 1 zw. Akustikexperten und Nicht-Akustikern; Mittelwert: Alle Messdaten = 2,8 (n = 78); Akustikexperte = 2,7 (n = 22); Nicht-Akustiker = 2,9 (n = 56).



**Abbildung 10:** Vergleich 2 zw. Akustikexperten und Nicht-Akustikern; Mittelwert: Alle Messdaten = 5,4 (n = 78); Akustikexperte = 5,6 (n = 22); Nicht-Akustiker = 5,3 (n = 56)

## Zusammenfassung

Die Ergebnisse der durchgeführten Befragung haben gezeigt, dass eine gezielte Modifikation der realen (Verstell-) Geräusche einer elektromechanisch verstellbaren Lenksäule zu einer besseren oder eben schlechteren Geräusch-einstufung führen wird. Damit ist die Relevanz der Lenksäulenakustik natürlich weiterhin von hoher Bedeutung. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass insbesondere die Lautheit ein entscheidender Faktor bei der Beurteilung/Bewertung darstellt. Die Schärfe und Tonalität sind aber nicht außer Acht zu lassen. Im Vergleich zw. der Geräuschbewertung von Akustikexperten und Nicht-Akustikern konnte gezeigt werden, dass anhand der aufgenommenen Messdaten keine signifikanten Unterschiede feststellbar waren. Damit ist eine generelle Bewertung einer Geräuschoptimierung zukünftig vereinfacht.

## Literatur

- [1] Beidl, Stücklschwaiger: Application of the AVL – Annoyance Index for Engine Noise Quality Development; Acta Acustica united with Acustica, Volume 83, Number 5.
- [2] Zwicker: Ein Vorschlag zur Definition und zur Berechnung der unbeeinflussten Lästigkeit, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 38, 91-97 (1991)
- [3] Widmann: Ein Modell der psychoakustischen Lästigkeit von Schallen und seine Anwendung in der Praxis der Lärmbeurteilung, Dissertation, Technische Universität München (1992)
- [4] Ronacher, Schiffbänker, Hussain, Gölles: Statistical Evaluation of an Annoyance Index for Engine Noise Recordings; SAE-Papers
- [5] Schlittenlacher, Ellermeier, Chen, Moritz: Psychoakustische Lästigkeit von Getriebegeräuschen; DAGA 2014 Oldenburg.
- [6] Putner, Fastl, Dittmar: Psychoakustische und instrumentelle Beurteilung typischer Geräusche von Gebläsen, Tagungsband Fortschritte der Akustik, DAGA 2012, Darmstadt (2012)
- [7] Ellermeier, Kattner, Kurtze, Roos, Seeber, Bös: Psycho-physical scaling of the annoyance produced by photovoltaic inverters, Forum Acusticum, Aalborg (2011)
- [8] Fastl: Sound Quality of Electric Razors - Effects of loudness. In: Proceedings internoise 2000 (2000)
- [9] Gardner: Sample size and power calculations made simple, International Journal of Therapy and Rehabilitation, January 2010, Vol 17, No 1.