

Extraktion der zur Beurteilung der Motorrauhigkeit verwendeten Kriterien

Sebastian Großmann¹, Jörg Ohlendorf², Hugo Fastl¹,

¹ AG Technische Akustik, MMK, TU München, grossmann@tum.de

² Audi AG, 85045 Ingolstadt

Einleitung

Eine im Vorfeld durchgeführte Studie zur Motorrauhigkeit und Lästigkeit von stationären Fahrzeuginnengeräuschen [1] mit 27 Probanden zeigte bei einigen Stimuli ausgeprägte inter-individuelle Streuung bei hoher intra-individueller Beurteilungsstabilität. Dies deutete auf Unterschiede bei der Begrifflichkeit Motorrauhigkeit bzw. der Gewichtung der zur Beurteilung herangezogenen Parameter unter den Probanden hin. Zur Beantwortung der Fragestellung, welche Kriterien bei der Beurteilung der Motorrauhigkeit herangezogen werden und aus welchen Punkten sich die Motorrauhigkeit zusammensetzt, wurde ein Workshop durchgeführt. Ziel war die Gruppierung der zur Beurteilung der Motorrauhigkeit verwendeten charakteristischen Merkmale.

Durchführung

Die Durchführung des Workshops erfolgte mit 8 Probanden, die über eine aus Vorversuchen bekannte hohe intra-individuelle Stabilität sowie über ein gutes Artikulationsvermögen verfügen. Dies war Voraussetzung, um in eigenen Worten beschreiben zu können, welche Kriterien zur Beurteilung der Motorrauhigkeit herangezogen werden. Bei Auswahl der Probanden wurde zusätzlich auf eine inter-individuelle Streuung hinsichtlich abgegebener Motorrauhigkeitsbeurteilung geachtet um ein möglichst breites Spektrum an Merkmalen abzudecken. Das Vorgehen sicherte einen hohen Informationsgehalt bezüglich der zur Beurteilung der Motorrauhigkeit herangezogenen Kriterien und deren Gewichtung. Als Basis dienten 20 aus Vorversuchen bekannte binaurale stationäre Fahrzeuginnengeräusche mit einer Länge von 10 Sekunden. Der Workshop wurde in zwei Teilen an verschiedenen Tagen durchgeführt.

Bereits vor Beginn des eigentlichen Workshops führten die Probanden einen Vorversuch durch, um sich mit den für den Workshop ausgewählten Stimuli auseinanderzusetzen. Dabei bestand die Aufgabe, die für die Beurteilung der Motorrauhigkeit verwendeten Kriterien in eigenen Worten schriftlich in Notizform festzuhalten. Um die Notizen im späteren Verlauf einzelnen Stimuli zuordnen zu können, stand den Probanden dabei die Nummer des entsprechenden Stimulus zur Verfügung.

Der erste Teil des Workshops erfolgte in drei Schritten. Zuerst haben die Probanden über die zur Beurteilung der Motorrauhigkeit verwendeten Kriterien diskutiert. Dazu hat jeder Proband seine im Vorversuch angefertigten Notizen auf Kärtchen übertragen, je Kärtchen ein Kriterium. Diese wurden ohne vorherige Sortierung an einer Pinnwand befestigt. Im darauffolgenden zweiten Teil wurde von den Pro-

banden eine Clusterung der Kriterien vorgenommen, indem vergleichbare Merkmalsbeschreibungen zusammengeführt wurden. Nicht eindeutige Beschreibungen wurden anhand von Beispielen gegenseitig erläutert. Dabei war festzustellen, dass auf verschiedenen Formulierungen vergleichbare akustische Merkmale basierten. Im dritten und letzten Schritt im ersten Teil des Workshops wurde je Cluster ein Oberbegriff von den Probanden vergeben. Vier der sechs Kriterien fokussierten sich allein auf die Motorrauhigkeit (vgl. [2]), zwei auf den Gesamteindruck des Stimulus.

Bezogen allein auf Motorrauhigkeit:

- Lage (tief - hoch): Trägerfrequenz
- Geschwindigkeit (langsam - schnell): Modulationsfrequenz
- Form (weich - hart): Form der Einhüllenden
- Ausprägtheit (undeutlich - deutlich): Modulationsgrad

Bezogen auf Gesamteindruck:

- Klangfarbe (dunkel - hell)
- Lautheit (leise - laut)

Zur Beurteilung der Motorrauhigkeit wurde aus den sechs Kriterien durch die Probanden ein Schema abgeleitet und auf dessen Grundlage ein Tool zur Beurteilung entwickelt.

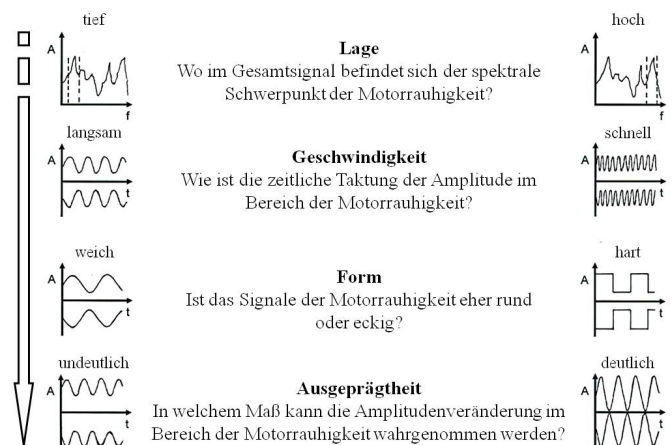


Abbildung 1: Teil des Schemas zur Beurteilung der motorrauhigkeitsrelevanten Kategorien

Dies ermöglichte einen direkten AB-Vergleich zwischen den einzelnen Stimuli, um diese mit Verhältnisskalierung hinsichtlich Motorrauhigkeit und Lästigkeit zu beurteilen. Die Umsetzung der Kriterien, aus denen sich die Beurteilung der Motorrauhigkeit zusammensetzt, erfolgte durch ein stufenloses semantisches Differential. Vor dem zweiten Teil des Workshops hatten die Probanden die Aufgabe, eine Beurteilung der bereits bekannten Stimuli hinsichtlich Motorrauhig-

keit, Lästigkeit und der sechs erarbeiteten Kriterien individuell durchzuführen.

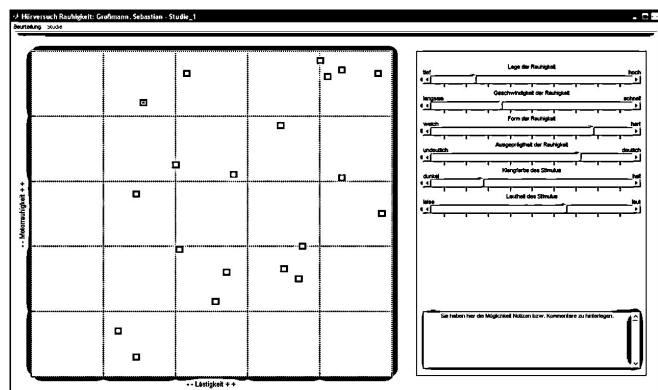


Abbildung 2: Tool zur subjektiven Beurteilung der Motorrauhigkeit mit der Möglichkeit des direkten AB-Vergleichs

Aus den einzelnen Beurteilungen wurde für jeden Stimulus der Median je Beurteilungsgröße berechnet. Das errechnete Gruppenergebnis war Ausgangspunkt des zweiten Workshopteils, in dem zuerst die Praktikabilität des Schemas diskutiert wurde. Dabei stellte sich heraus, dass für die Probanden eine differenzierte Beurteilung der extrahierten Kriterien gegenüber der globalen Motorrauhigkeit und Lästigkeit schwieriger ist.

Für den zweiten Teil des Workshops wurde der interindividuelle Median aus den abgegebenen Beurteilungen für die Dimensionen Motorrauhigkeit und Lästigkeit, sowie der Rauigkeitskriterien berechnet und als Gruppenergebnis definiert. Das Ergebnis diente als Ausgangspunkt zur detaillierten Diskussion einzelner Stimuli und deren Abgleich innerhalb der Gruppe. Das Endergebnis wurde durch die Gruppe mit geringen Veränderungen bestätigt.

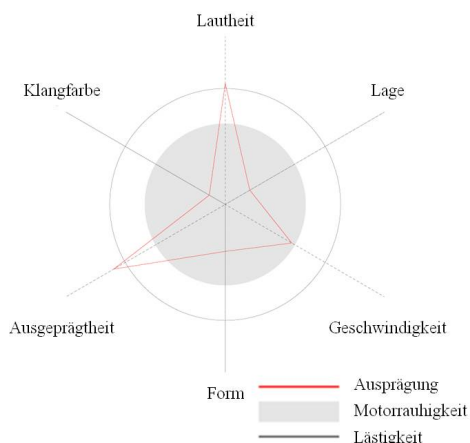


Abbildung 3: Beispiel für Beurteilung eines Stimulus: Die rote Linie gibt die Ausprägung der einzelnen Teilaspekte wieder. Der Durchmesser der Flächen steht proportional zur globalen Motorrauhigkeits- bzw. Lästigkeitsbeurteilung.

Validierung

Die Validierung der im Workshop abgegebenen Beurteilung erfolgte mit einem reduziertem Datensatz [10 Stimuli] und anderen Probanden [N=8] unter Anwendung des abgeleiteten Schemas. Alle Probanden sind geübte Hörer und zeichnen sich durch einen häufigen Umgang mit dem Begriff Motor-

rauhigkeit aus (vgl. [3]). Das Ergebnis der Beurteilung stimmt zu 98% [$r=0,98$; $R^2=0,96$] mit dem Ergebnis aus dem Workshop überein.

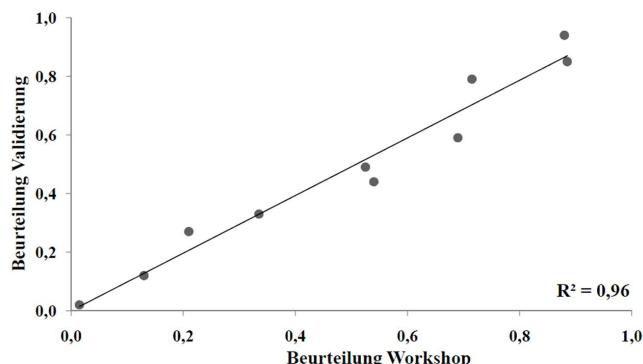


Abbildung 4: Streudiagramm Validierung

Ergebnis

Durch die gewählte Herangehensweise im Workshop konnten sechs Kriterien aus verbalen Beschreibungen extrahiert und die inter-individuelle Streuung minimiert werden. Es wurde ein Datensatz erstellt, der die Zusammensetzung der Beurteilungskriterien für die Motorrauhigkeit wiedergibt. Die hohe Korrelation zwischen Motorrauhigkeit und Lästigkeit [$r=0,91$; $R^2=0,84$] zeigt eine grundsätzlich negative Belegung der Motorrauhigkeit (vgl. [4]).

Korrelation mit Motorrauhigkeit

Lästigkeit	r = 0,91	Lage	r = 0,67
Lautheit	r = 0,91	Geschwindigkeit	r = 0,74
Form	r = 0,94	Klangfarbe	r = 0,66
Ausgeprägtheit	r = 0,96		

Tabelle 1: Korrelationen der Beurteilungen zwischen Motorrauhigkeit und deren Teilaspekten

Interessant ist, dass die spektralen Kriterien Lage, Geschwindigkeit und Klangfarbe die geringste Korrelation mit der Motorrauhigkeit aufweisen. Vielmehr scheint die Form und Ausgeprägtheit eine entscheidende Rolle bei der Beurteilung der Motorrauhigkeit zu spielen.

Literatur

- [1] Großmann, S.; Fastl, H.: Echtzeitbeurteilung instationärer Signale in Hörversuchen, *Fortschritte der Akustik, DAGA '10*, DEGA e.V., Berlin (2010)
- [2] Fastl, H.; Zwicker, E.: *Psychoacoustics – Facts and Models*, 3rd ed., Springer, Berlin, Heidelberg (2007)
- [3] Martner, O.; Zerbs, C.; Fey, U.; Kragl, R.; Müller, A.: *Neues psychoakustisches Modell zur objektiven Bestimmung der Rauigkeit bei Verbrennungsmotoren*, MTZ - Motortechnische Zeitschrift 61/2000, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (2000)
- [4] Terhardt, E.; *On the Perception of Periodic Sound Fluctuation (Roughness)*, *Acustica* 30, 201-213 (1974)