

Wahrnehmung der Klangqualität von Produktgeräuschen

David Hülsmeier^{1,2}, Lena Schell-Majoor¹, Jan Rennies¹, Steven van de Par^{1,2}

¹Fraunhofer IDMT Hör-, Sprach- und Audiotechnologie,
E-Mail: {david.huelsmeier, lena.schell-majoor, jan.rennies}@idmt.fraunhofer.de

²Universität Oldenburg, AG Akustik,
E-Mail: {david.huelsmeier, steven.van.de.par}@uni-oldenburg.de

Einleitung

Die Klangqualität von Produktgeräuschen spielt in der heutigen Industrie eine wichtige Rolle, hierbei ist das Augenmerk der Forschung stark auf den Bereich Fahrzeugakustik gerichtet. Entsprechende Untersuchungen für Haushaltsgeräte sind nur in einem geringeren Maß verfügbar oder nicht öffentlich zugänglich. Eine genauere Betrachtung dieser Produktgruppen ist somit von Interesse. Um die Klangqualität von ihnen zu untersuchen, ergeben sich u.a. zwei Fragestellungen:

- Welche Methode eignet sich für eine subjektive Bestimmung der Klangqualität?
- Was eignet sich als objektives Modell?

Diese Fragen wurden mit einem semantischen Differential anhand der Betriebsgeräusche von Staubsaugern, Rasierapparaten und Spraydosen untersucht. Anschließend wurde eine Dimensionsreduktion der Beurteilungsattribute mittels Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Diese Ergebnisse wurden zur Erstellung eines objektiven Modells der Klangqualität verwendet. Es soll die Bestimmung der Klangqualität ohne Probanden ermöglichen.

Experiment

Stimuli

Es wurden die Geräusche von sieben Spraydosen, neun Staubsaugern und neun Rasierapparaten im Leerlauf verwendet. Die Aufnahmen fanden in einem Freifeldraum statt. Die Lautheit der Geräusche wurde nach [1] berechnet und pro Gruppe verändert bis sie maximal um ± 5 sone voneinander abwichen. Dies entspricht Schalldruckpegeln von 60 bis 70 dB SPL. Durch diese Normierung sollte verhindert werden, dass laute Geräusche automatisch als lästiger empfunden werden und leise als angenehmer. Somit wurde der Fokus auf die anderen psychoakustischen Aspekte, wie etwa Präferenz oder Schärfe, gelegt.

Vorstudie

Um die Stimuli von Probanden mit einem semantischen Differential bewerten zu lassen, mussten geeignete Bewertungsattribute gefunden werden. Zuerst beschrieben zehn Probanden die Stimuli frei mit Wörtern, vornehmlich Adjektiven. Diese wurde anschließend vom Versuchsleiter um Wörter, die Qualität, Rauigkeit, Schärfe und Tonhaltigkeit beschreiben erweitert. Fünf weitere Probanden bestimmten anschließend die Antonyme der Adjektive und bildeten Paare. Abschließend wurden die Adjektivpaare auf ihre Eignung für die Bewertung der Sti-

muli von den Probanden ausgewählt. Die 24 am besten geeigneten Adjektivpaare wurden für das semantische Differential verwendet. Diese Wortpaare enthielten qualitätsbeschreibende Bewertungsattribute.

Hauptstudie

Probanden: Es nahmen sieben weibliche und neun männliche Probanden teil. Sie alle gaben an normalhörend zu sein. Das Alter lag im Durchschnitt bei 25.6 Jahren.

Ablauf: Die Probanden bewerteten die Stimuli an drei Terminen. Jeder Termin folgte der gleichen Prozedur. Im ersten Teil eines Termins wurde eine Produktgruppe untersucht. Hierfür wurde den Probanden vor der Messung eine schriftliche Instruktion zum Lesen gereicht. Nach der Messung fand ein Interview über die entsprechende Produktgruppe statt. Anschließend wurde eine andere Produktgruppe bewertet. Hierbei blieb der Ablauf gleich, jedoch wurde kein Interview durchgeführt. Insgesamt wurden alle Stimuli zweimal durch die Probanden bewertet.

Durchführung der Messungen: Das semantische Differential wurde für die Messungen als Methode ausgewählt. Vor der Bewertung mussten die Probanden alle Stimuli anhören und die Adjektivpaare lesen. Ihnen wurde somit ein Überblick über die zu erwartenden Geräusche und Attribute gewährt. Während der Messung konnten die Probanden auf einer 7-Punkt-Skala mit den Adjektivpaaren als Extrema die Geräusche bewerten. Sie wurden unterdessen in einer Schleife wiedergegeben. Eine Messung dauerte etwa 20 Minuten, so dass keine Ermüdungseffekte auftraten.

Ergebnisse

Die gewonnenen Daten wurde mit einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) untersucht (Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normierung). Hierdurch konnte eine Dimensionsreduktion durchgeführt werden. Die PCA wurde für alle Bewertungsattribute über alle Probanden und Stimuli berechnet. Die Anzahl der zu extrahierenden Faktoren wurde mit Screeplot- und Kaiser-Kriterium bestimmt und die Eignung des Datensatzes mit dem Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium (KMO) (≥ 0.8 für jede Gruppe, entspricht guter Eignung nach [3]). Die Adjektivpaare wurden anschließend mit Cronbachs α untersucht und auf etwa vier je Faktor reduziert. Es verblieben 15 Adjektivpaare für Staubsauger, 15 für Rasierapparate und 12 für Spraydosen. Für die verschiedenen Gruppen wurden folgende Faktoren gefunden:

Faktoren Staubsauger (Tab. 1): *Qualität* (Faktor 1),

Bewertung (2), spektraler Gehalt (3) und zeitliche Struktur (4)

Faktoren Rasierapparate: spektrale Eigenschaften, Qualität, Präsenz und spektrale Ausdehnung

Faktoren Spraydosen: Struktur und Qualität, spektraler Schwerpunkt und Kraft.

In [4] wird die Produktklangqualität als Angemessenheit des Geräusches zum Produkt beschrieben. Zudem soll das Produktgeräusch die begehrten Eigenschaften des Gerätes widerspiegeln. Auf den Qualitätsfaktor (1) für Staubsauger laden Adjektivpaare hoch, die Kraft, Effizienz und Funktionstüchtigkeit beschreiben, sie beschreiben die gewünschten Eigenschaften eines Staubsaugers. Ähnliche Ergebnisse wurden für Rasierapparate und Spraydosen gefunden.

Tabelle 1: Rotierte Faktormatrix für den reduzierten Wortsatz der Produktgruppe *Staubsauger*. KMO = 0.87. Signifikanz nach Barlett: < 0.001. N = 144 (16 Probanden · 9 Stimuli). Die extrahierten Faktoren erklären 79.38% der rotierten Varianzen s_{rot}^2 . [2]

Adjektivpaar	Faktor			
	1	2	3	4
kraftvoll - schwach	.895	.098	.089	.082
effizient - ineffizient	.893	.198	.090	.166
funktionstüchtig - kaputt	.805	.306	.139	.238
hochwertig - minderwertig	.802	.430	.162	.177
leise - laut	.046	.877	.204	.152
weich - hart	.358	.796	.197	.002
angenehm - störend	.384	.788	.290	.160
scharf - gedämpft	-.355	-.723	-.392	.049
tonhaltig - nicht tonhaltig	-.015	-.113	-.821	.028
heulend - nicht heulend	-.052	-.285	-.727	-.327
rauschend - pfeifend	.260	.432	.695	.032
brummend - singend	.341	.398	.640	-.171
monoton - unregelmäßig	.221	.008	.229	.845
gleichförmig - schwankend	.315	-.029	.116	.831
glatt - rau	-.032	.224	-.297	.755
$s_{rot}^2 / \%$	24.2	22.4	17.5	15.2

Modell

Anhand der Bewertungen der Probanden und den Faktorladungen des Qualitätsfaktors (Tab. 1) konnten nun Faktorwerte $F_{j,norm}$ berechnet werden (Gl. 1). Hierbei wurden die Bewertungen $X_{i,p}$ mit den Faktorladungen $b_{i,j}$ multipliziert und über alle Adjektivpaare N und Probanden P summiert. Anschließend fand eine Normierung statt. Der Faktor wird durch den Index j markiert und die Indizes i und p entsprechen Laufindizes für die Adjektivpaare bzw. Probanden. Die Konstante $\max(Rating)$ gibt die maximal mögliche Bewertung für ein Adjektivpaar an. Die Faktorwerte $F_{2,norm}$ entsprechen der subjektiven Qualität.

Durch Gl. 2 wird eine objektive Bewertung ermöglicht. Hierbei stellen S die Schärfe in *acum* (nach [5]) und T die Tonhaltigkeit (nach [6]) dar ($k_1 = 0.24$, $k_2 = 0.23$). In Abb. 1 sind die objektiven über den subjektiven Bewertungen aufgetragen. Ihre Korrelation r nach Pearson beträgt 0.87 und zeigt somit, dass die Linearkombination

eine gute Annäherung an die Daten darstellt.

$$\bar{F}_{j,norm} = \frac{\sum_p \sum_i b_{i,j} \cdot X_{i,p}}{P \cdot N \cdot \max(Rating)} \quad (1)$$

$$F_{obj} = k_1 \cdot S + k_2 \cdot T \quad (2)$$

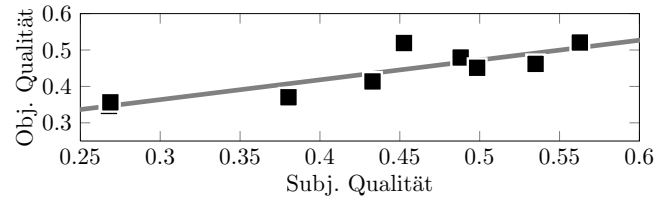


Abbildung 1: Darstellung der obj. über der subj. Qualität der Staubsauger in schwarz. Korrelation nach Pearson: $r = 0.87$.

Zusammenfassung

In dieser Studie wurde die Produktklangqualität subjektiv und objektiv systematisch ermittelt. Es wurde gezeigt, dass ein semantisches Differential als subjektive Methode zur Bestimmung der Klangqualität geeignet ist, sofern Wortpaare sorgfältig gewählt werden. Durch eine PCA konnten die qualitätsrelevanten Bewertungsattribute identifiziert werden. Des Weiteren wurde ein objektives Modell für Staubsaugergeräusche vorgestellt, das hoch mit den subjektiven Bewertungen korreliert ($r = 0.87$). Es verwendet die Linearkombination von modellierter Schärfe und Tonhaltigkeit. Ferner wurde eine Datengrundlage zur Modellierung der Klangqualität von Rasierapparaten und Spraydosen aufgenommen.

Literatur

- [1] Zwicker, E.: DIN45631, Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum - Verfahren nach E. Zwicker. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., 1991
- [2] Hülsmeier, D.: Wahrnehmung der Klangqualität von Produktgeräuschen. Bachelorarbeit, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fraunhofer IDMT Hör-, Sprach- und Audiotheologie, 2013
- [3] Field, A.: Discovering Statistics through SPSS:(and sex and drugs and rock'n'roll). Thousand Oaks, CA, USA: Sage Publications, 2009.
- [4] Blauert, J. und Jekosch, U.: Sound-quality evaluation a multi-layered problem. Acta acustica united with acustica, 83(5):747-753, 1997
- [5] Fastl, H. und Zwicker, E.: Psychoacoustics: facts and models. Springer, 1991
- [6] Aures, W.: Berechnungsverfahren für den sensorischen Wohlklang beliebiger Schallsignale, Acustica 59, pp. 130-141, 1985.