

Psychometrische Analyse von Zielgeräuschen auf der Basis von ISO362-Vorbeifahrten

Rudolf Bisping

SASS acoustic research & design GmbH; Email: rudolf.bisping@sass-acoustics.com

Einleitung

Wesentlicher Schwerpunkt der Einzelaufgabe 2111 im BMBF-Projekt *Leiser Verkehr* ist die Erstellung eines Geräuschkatalogs, wobei neben Originalgeräuschen ebenfalls experimentelle Geräusche und Zielgeräusche erstellt werden. Entsprechend dem Projektziel sollen aus diesen Daten schließlich Empfehlungen für technische Maßnahmen abgeleitet werden, die der Verringerung der akustischen Belastung dienen, insbesondere in Hinblick auf tieffrequente Geräusche. Den Zielgeräuschen kommt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselfunktion zu, denn ihre akustischen Merkmale stehen in einem kausalen Zusammenhang mit technischen Eigenschaften der Quelle, z.B. denen des Motors. Um Kriterien zur Auswahl von Zielgeräuschen von Kraftfahrzeugen mit unterschiedlicher Motorisierung zu gewinnen wurde deshalb ein Experiment auf der Basis von ISO362-Vorbeifahrten [1] durchgeführt, bei dem die Pegel tieffrequenter motorabhängigen Geräuschanteile systematisch variiert wurden.

Methode

ISO362 Messungen

Die Messung der ISO362-Vorbeifahrten von 10 unterschiedlichen Fahrzeugen (4-, 6-, 8-Zylinder) erfolgte im 2. und 3. Gang, mittels einer von SASS entwickelten Kopfbügelmikrofontechnik. Die Fahrer haben dabei die Aufgabe, mit 50 km/h bis auf 10 m an den Meßpunkt heranzufahren. Sie geben dann Vollgas und nehmen das Gas 10 m hinter dem Meßpunkt wieder zurück. Zusätzlich zu den Geräuschmessungen wurde das Drehzahlsignal aufgezeichnet. Die Drehzahlmessungen wurden mittels SASSWin1.946 synchron zur Geräuschmessung auf das 16. Bit der akustischen Messungen kopiert, um drehzahlabhängige Analysen bzw. Filterungen der Motorcharakteristik durchführen zu können.

Tonmaterial

Bei den 10 Fahrzeugen wurden die dominanten Motorordnungen im Frequenzbereich bis 600 Hz über der Drehzahl in vier Pegelstufen variiert: -20 dB, -10 dB, 0 dB, +10 dB. Die Pegelvariationen erfolgten für den 2. und den 3. Gang. Dadurch ergaben sich N = 80 experimentelle Bedingungen: 4 (Pegelstufen) x 2 (Gänge) x 10 (Fahrzeuge). Der A-Pegel wurde bei allen Geräuschen konstant gehalten. Die Dauer eines Vorbeifahrtgeräusches betrug 10 Sekunden mit einer Pause von 5 Sekunden zwischen jeder Vorbeifahrt. Die Geräuschabfolge war randomisiert. Jedes Geräusch wurde angesagt („Es folgt Geräusch Nr. ...“).

Skalierung

Die Beurteilung erfolgte mit Hilfe des Kategorienunterteilungsverfahrens. Fünf verschiedene KU-Skalen wurden verwendet: *laut*, *angenehm*, *dynamisch*, *sportlich* und *hoch* (vgl. [2]).

Versuchsdurchführung

Am Versuch nahmen 20 Probanden in Gruppen von 3-4 Personen / Sitzung teil (gleiche Geschlechterverteilung; Alter: 18 – 52 Jahre). Die Geräusche wurden (bei konstantem A-Pegel) mit ihrem über alle Geräusche gemittelten Originalpegel mittels 5.1 Surround per Lautsprecher dargeboten (Genelec 1030A; Genelec Subwoofer 7070A). Pro Durchgang á 80 Geräuschen wurde jeweils nur 1 Merkmal skaliert, d.h. die 80 Geräusche wurden 5 mal nacheinander präsentiert. Die raumakustischen Bedingungen entsprachen ITU-R BS1116-1 [3].

Auswertung

Die fünf KU-Skalierungen wurden varianzanalytisch mit Meßwiederholung auf der Fahrzeug-, Gang- und Pegelbedingung ausgewertet.

Ergebnisse

Abbildung 1-5 zeigt die Mittelwerte und zugehörige Standardfehler der Skalen *laut*, *angenehm*, *dynamisch*, *sportlich* und *hoch* für die drei experimentellen Haupteffekte sowie die Interaktion *Fahrzeug x Gang*. Bei allen fünf Skalen ergab die Varianzanalyse für die drei geprüften experimentellen Bedingungen (Fahrzeuge, Gang, Pegel der dominanten Motorkomponenten) mit Ausnahme des Pegeleffekts bei der Skala *angenehm* ($p=0.002$) signifikante Haupteffekte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p<0.001$. Die Interaktion *Fahrzeug x Gang* war für alle Skalen signifikant mit einem $p<0.001$.

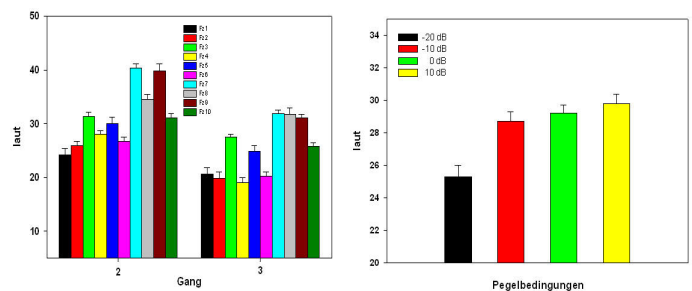


Abbildung 1: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *laut* bei den Bedingungen Fahrzeug, Gang und Pegel

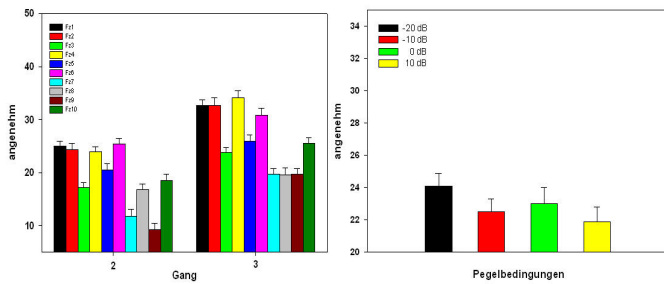


Abbildung 2: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *angenehm* bei den Bedingungen Fahrzeug, Gang und Pegel

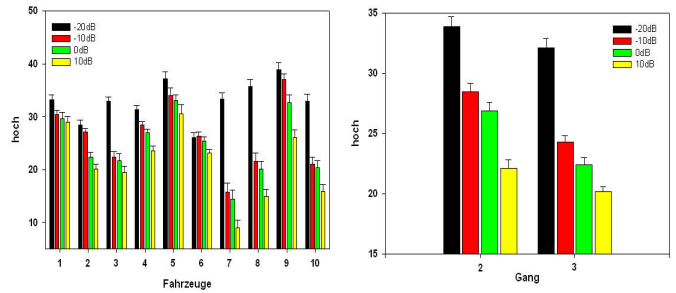


Abbildung 6: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *hoch* bei den Wechselwirkungen Fahrzeug x Pegel und Gang x Pegel

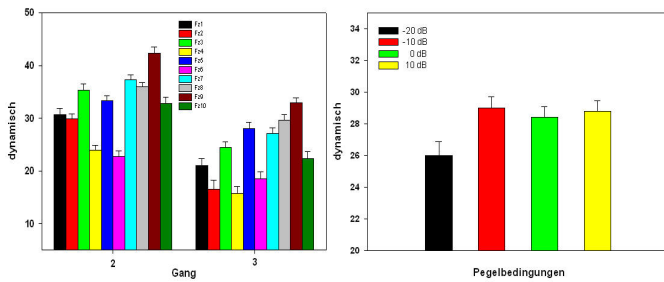


Abbildung 3: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *dynamisch* bei den Bedingungen Fahrzeug, Gang und Pegel

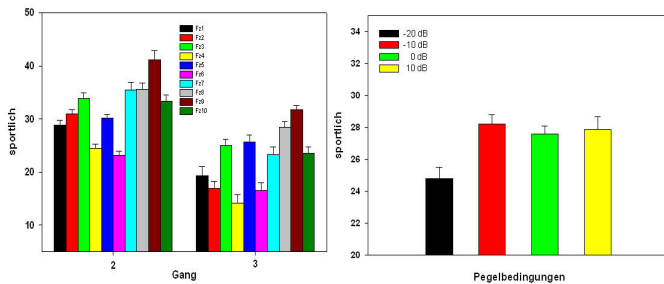


Abbildung 4: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *sportlich* bei den Bedingungen Fahrzeug, Gang und Pegel

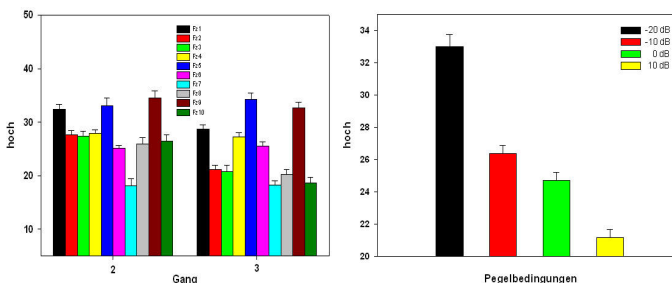


Abbildung 5: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *hoch* bei den Bedingungen Fahrzeug, Gang und Pegel

Abbildung 6 zeigt die beiden Wechselwirkungen Fahrzeug x Pegel ($p < 0.001$) sowie Pegel x Gang ($p = 0.002$).

Schlußfolgerung

Die Varianzanalyse zeigt, dass die Probanden die Unterschiede zwischen den Fahrzeugen, den Gangbedingungen und den Pegelbedingungen in Hinsicht auf die verwendeten Skalen sehr präzise wahrnehmen (Abbildungen 1-5). Die Genauigkeit mit der die experimentellen Bedingungen unterschieden werden ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass den Probanden bei der Skalierung die Möglichkeit gegeben wurde, sich jeweils nur auf ein Merkmal zu konzentrieren. Der dritte Gang wird generell als deutlich leiser bzw. angenehmer und dabei weniger dynamisch bzw. sportlich empfunden. Die Variation der Ordnungspegel wirkt sich insbesondere bei den Skalen *leise*, *angenehm*, *dynamisch* und *sportlich* und vor allem bei der *-20dB* Bedingung aus. Bei der Skala *hoch* zeigt sich demgegenüber eine stärker ausgeprägte graduelle Abstufung. Für die Definition von Zielgeräuschen kommen diejenigen Geräusche in die engere Auswahl, die auf Grund der experimentellen Bedingungsvariationen einerseits als vergleichsweise leise und angenehm beurteilt wurden und bei denen andererseits die tieffrequente Geräuschminderung nur einen vergleichsweise moderaten Anstieg der Tonhöhe bewirkte (Abbildung 6). Diese Einschränkung ist erforderlich, um ein artifizielles Klangbild zu verhindern, das als Zielgeräuschdefinition nicht akzeptabel wäre.

Literatur

[1] ISO362. Acoustics – measurement of noise emitted by accelerating road vehicles – engineering method (1981). Genf: International Organization for Standardization.

[2] Bisping R. Multidimensional scaling of road and railway noise in a 5.1 surround situation. In: Proceedings of the Joint Congress CFA/DAGA 2004 – Strasbourg, pp. 185-186

[3] ITU-R BS 1116. Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems (1997). Genf: International Telecommunication Union.

Danksagung

Die Untersuchung wurde vom BMBF im Rahmen des Projekts *Leiser Verkehr* gefördert.