

Psychometrische Beurteilung von Kfz-Geräuschen

Rudolf Bisping

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

Einleitung

Ein wesentlicher Schwerpunkt des Projekts 2000 *Lärmwirkung* im BMBF-Projekt *Leiser Verkehr* ist die Wirkung tieffrequenter Geräuschanteile auf den Probanden. Innerhalb des Projekts nimmt, neben der Wirkungsanalyse von Schienengeräuschen, die Störwirkung von Kfz-Vorbeifahrten auf den Zuhörer einen gewichtigen Platz ein. In vielen Fällen der durchgeführten bzw. noch laufenden Untersuchungen werden akustische Messungen gleichzeitiger Vorbeifahrten von PKW's und LKW's untersucht, z.B. um unterschiedliche Verkehrsdichten zu simulieren. Bei der vorliegenden Untersuchung werden Kfz-Einzelvorbeifahrten untersucht, um zur Erweiterung technischen Aussagemöglichkeiten zwischen den motorseitig über die Karosserie und andererseits über den Auspuff abgestrahlten Motorgeräuschanteilen unterscheiden zu können. Ergeben sich hier differenzielle Effekte, können daraus gezielt Empfehlungen hinsichtlich der Pegelminderung dieser Quellen abgeleitet werden. Neben einer Aufteilung der Emissionsquellen am Fahrzeug wird weiterhin untersucht, welchen Effekt eine Geräuschdämpfung des Frequenzbereichs < 500 Hz gegenüber dem Frequenzbereich >500 Hz auf den Zuhörer ausübt. Diese Aufteilung der Frequenzbereiche erweitert die Fragestellung einer vorangegangenen Studie [1], die sich auf den Frequenzbereich unterhalb von 600 Hz beschränkte, und eröffnet dadurch weitere Aussage- bzw. Empfehlungsmöglichkeiten.

Methode

Tonmaterial

Das Geräuschmaterial für die Untersuchung wurde durch Messungen der Vorbeifahrten von 5 Testfahrzeugen gewonnen. Zur Erzielung einer möglichst großen Bandbreite von Geräuschcharakteristiken wurden neben PKW's auch LKW's einbezogen. Tabelle 1 zeigt die technischen Daten.

Fz-Nr.	Zylinder	Motortyp	Hubraum	Leistung (kW / PS)	max. Drehmoment
1	4	Otto - Reihenmotor	1,6 L	85 kW / 115 PS	150 Nm / 4000 U/min
2	4	Otto - Reihenmotor	1,9 L	74 kW / 100 PS	260 Nm / 2000 U/min
3	6	Diesel - Reihenmotor	3,0 L	160 kW / 218 PS	500 Nm / 2000 U/min
4	4	Diesel - Reihenmotor	1,8 L	85 kW / 115 PS	160 Nm / 4400 U/min
5	4	Diesel - Reihenmotor	3,0 L	122 kW / 166 PS	380 Nm / 2000 U/min

Die Vorbeifahrten der Fahrzeuge wurden im 2. und 3. Gang bei 50 kmh gemessen. Der Fahrer hatte die Aufgabe im Abstand von 0,5 Meter am Messaufbau vorbeizufahren. Ein Motor- und ein Auspuff-Mikrofon waren von ihrer Höhe bzw. ihrem Abstand zueinander auf die Position des Motors bzw. des Auspuffs des jeweiligen Fahrzeugs abgestimmt. Die Standardmessung der globalen, d.h. räumlich nur stereophon differenzierten Geräuschabstrahlung erfolgt mittels Kopfbügelmessmikrofon (SASS-KBM2). Um die Motor- bzw. Auspuffgeräusche algorithmisch so weit wie möglich vom Störpegel der Rollgeräusche zu trennen, wurden zusätzlich bei jedem Fahrzeug Rollgeräuschmessungen mit ausgeschalteten Motor entsprechend ISO13325 durchgeführt. Die Trennung von motorseitigen und auspuffseitigen Abstrahlungen erfolgte mittels adaptiver Filterung [2]. Die Absenkung der Rollgeräuschpegel, durchschnittlich ca. 10 dB, erfolgte mittels spektraler Subtraktion [3].

Für die Erzeugung des experimentellen Tonmaterials wurden die störgeräuschbereinigten Messungen im 2. Gang herangezogen. Für jedes Fahrzeug wurden insgesamt 12 Varianten erzeugt. Per adaptiver Filterung wurde zunächst eine motorbetonte und eine auspuffbetonte Variante generiert. Neben der ungefilterten globalen Standardmessung ergeben sich dadurch zwei weitere Varianten, die nachfolgend unter der Bezeichnung „Quelle“ subsummiert werden. Jede der drei Varianten des Faktors „Quelle“ wurde einer dreistufigen Filterung unterzogen. Bei der Filterstufe 1 wurde der Bereich unterhalb von 500 Hz um 6 dB abgesenkt. Bei der Filterstufe 2 wurde derselbe Bereich um 12 dB abgesenkt. Bei der dritten Filterstufe wurde der Bereich oberhalb von 500 Hz um 6 dB abgesenkt. Neben diesen drei gefilterten Varianten wurde das ungefilterte Signal ebenfalls einbezogen, so dass ein vierstufiger Faktor „Filter“ resultiert. Insgesamt ergibt sich auf diese Weise ein varianzanalytischer Versuchsplan mit 5(Fahrzeugen) x 3(Quellbedingungen: Quelle 1 =ungefiltert, Quelle 2 = motorseitige Abstrahlung, Quelle 3 = auspuffseitige Abstrahlung) x 4(Filterbedingungen: Filter 1 = ungefiltert, Filter 2 = -6dB < 500 Hz, Filter 3 = -12dB < 500 Hz, Filter 4 = 6 dB > 500 Hz) = 60 experimentelle Bedingungen.

Skalierung

Die Beurteilung erfolgte mit Hilfe des Kategorienunterteilungsverfahrens (KU). Vier verschiedene KU-Skalen wurden verwendet: *laut*, *angenehm*, *dynamisch*, *hoch* (vgl. [1]). Pro Durchgang á 60 Geräusche wurde jeweils nur 1 Merkmal skaliert, d.h. die 60 Geräusche wurden 5 mal nacheinander beurteilt.

Versuchsdurchführung

Am Versuch nahmen 27 Probanden in Gruppen von 3-4 Personen / Sitzung teil (13 männlich, 14 weiblich; Alter: 18 – 42 Jahre). Die Geräusche wurden mit einem mittleren Maximalpegel von 74 dB(A) mittels 5.1 Surround dargeboten (5 x Genelec 1030A; 1 x Genelec Subwoofer 7070A). Die Dauer eines Vorbeifahrtgeräusches betrug 10 Sekunden mit einer Pause von 5 Sekunden zwischen jeder Vorbeifahrt. Die Geräuschabfolge war randomisiert. Jedes Geräusch wurde angesagt. Die raumakustischen Bedingungen entsprachen ITU-R BS1116-1.

Auswertung

Die Auswertung erfolgte mittels ANOVA in SPSS V.13 mit Messwiederholung auf den Faktoren „Fahrzeug“, „Quelle“ und „Filter“.

Ergebnisse

Abbildung 1 – 4 zeigt die Mittelwerte und Standardfehler für die vier Variablen. Alle drei experimentellen Bedingungen unterscheiden sich bei allen vier Variablen in den Haupteffekten hochsignifikant voneinander (Bereich: $p=0.002$ – $p<0.001$), d.h. die fünf Fahrzeuge, die drei Quellbedingungen und die vier Filterbedingungen werden unterschiedlich von den Probanden beurteilt.

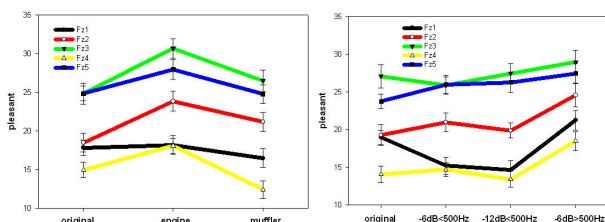


Abbildung 1: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *angenehm* für die Bedingungen *Quelle* (links) und *Filter* (rechts)

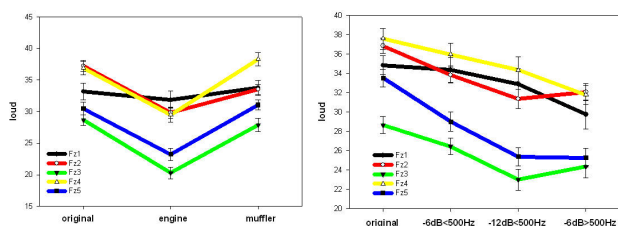


Abbildung 2: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *laut* für die Bedingungen *Quelle* (links) und *Filter* (rechts)

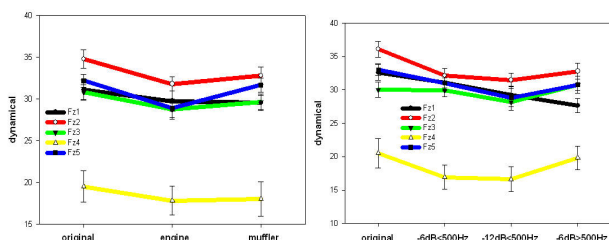


Abbildung 3: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *dynamisch* für die Bedingungen *Quelle* (links) und *Filter* (rechts)

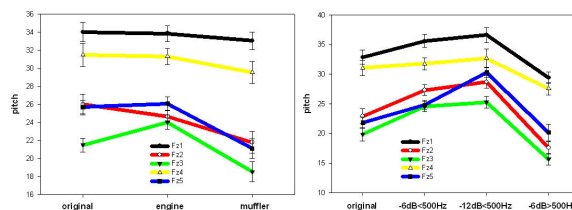


Abbildung 4: Mittelwerte und Std.-Fehler der Skala *hoch* für die Bedingungen *Quelle* (links) und *Filter* (rechts)

Schlußfolgerung

Die Varianzanalyse ergibt hochsignifikante Unterschiede zwischen den drei experimentellen Bedingungen bei allen vier Skalen. Bei den Fahrzeugen fällt die unterschiedliche Beurteilung besonders deutlich aus. Fz3 beispielsweise wird durchweg als vergleichsweise angenehm, leise und tieffrequent eingestuft, während Fz4 als unangenehm, laut, auffallend undynamisch und höher in der Tonlage beurteilt wird. Für die vorliegende Fragestellung sind die beiden übrigen Effekte (Quelle, Filter) von besonderer Bedeutung. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen, dass die motorseitige Abstrahlung als angenehmer und leiser wahrgenommen wird, als die Abstrahlung über den Auspuff bzw. das Originalgeräusch. D.h., die aufpuffseitige Abstrahlung weist einen deutlich höheren Optimierungsbedarf auf, als die motorseitige. Eine Empfehlung an die Hersteller dieser Fahrzeuge lautet entsprechend, die auspuffseitige Abstrahlung bevorzugt zu verbessern. Die auspuffseitige Abstrahlung wird außerdem als tieffrequenter empfunden. Dieser Klangfarbeneffekt ist akustisch plausibel, scheint aber für Optimierungszwecke nur zweitrangig zu sein. Die Filterbedingung – Absenkung um 6 dB oberhalb von 500 Hz – wird als leiser, angenehmer und tieffrequenter eingestuft als die übrigen Bedingungen. Für die akustische Optimierung bedeutet dieser Effekt, dass der Bereich oberhalb von 500 Hz offenbar ein großes Potential aufweist, da hier bereits eine Absenkung von 6 dB ausreicht, um ein besseres Ergebnis zu erzielen als bei einer Absenkung von 12 dB unterhalb von 500 Hz.

Literatur

- [1] Bising, R. (2005). Psychometrische Analyse von Zielgeräuschen auf der Basis von ISO362-Vorbeifahrten. In: Fastl, H. & Fruhmann, M., Fortschritte der Akustik. DAGA 2005 – München, pp. 409-410.
- [2] Lim, S. J., & Oppenheim, A. (1979), Enhancement and bandwidth compression of noisy speech. Proceedings of the IEEE, 67, pp. 7-25.
- [3] Stearns, S. D. & David, R. A. (1988) Signal processing algorithms. Englewood Cliffs(N.J.): Prentice Hall

Danksagung

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