

ZUR LÄRMMINDERUNG DURCH GESCHWINDIGKEITSBESCHRÄNKUNGEN

H. Fastl, U. Widmann, S. Kuwano*, S. Namba*

Lehrstuhl für Elektroakustik, Technische Universität München
*Universität Osaka, Japan

Einführung

Durch Absenkung der im Stadtverkehr erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h kann bei vernünftiger Fahrweise (niedrige Drehzahlen) eine Reduktion der Geräuschemission von KFZ erreicht werden. Diesem positiven Effekt steht jedoch in ruhiger Umgebung eine längere Hörbarkeit der Geräusche langsamer KFZ gegenüber. In einer Pilotstudie wurde daher die Änderung der Geräuschemission und der -immission bei Reduktion der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs von 50 km/h auf 30 km/h verglichen. Subjektiven Beurteilungen in psychoakustischen Meßreihen werden physikalische Bewertungen mit Meßgeräten gegenübergestellt.

Messungen

Alle subjektiven Messungen wurden von acht normalhörenden Versuchspersonen im Alter zwischen 24 und 46 Jahren (Median 28 Jahre) durchgeführt. Die Schalle wurden diotisch über elektrodynamische Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeld-Entzerrer (Zwicker und Fastl, 1990, S.7) in einer schallgedämmten Meßkabine dargeboten. Die in den Versuchen verwendeten Geräusche wurden folgendermaßen gewonnen: In 7,5 m Entfernung von der Fahrzeugmitte wurden die Geräusche eines mit konstanter Geschwindigkeit vorbeifahrenden Fahrzeugs auf DAT-Band aufgezeichnet. Das Diesel-Fahrzeug hat 5 Gänge; bei 50 km/h wurde im 3. Gang, bei 30 km/h im 2. Gang gefahren. Die Vorbeifahrtgeräusche (vgl. Fig. 1) wurden subjektiv hinsichtlich der Emission anhand der Methode der absoluten Größenschätzung ohne Ankerschall (vgl. Zwicker und Fastl, 1990, S.9) beurteilt. Für die Immissionsbeurteilung wurden folgende DAT-Bänder erstellt (vgl. Fig. 3): Innerhalb eines Zeitraumes von 15 Minuten wurden 30 Vorbeifahrten mit 50 km/h (Fig. 3a), bzw. mit 30 km/h (Fig. 3b) realisiert. Diesen Vorbeifahrtgeräuschen wurde leiser, kontinuierlicher Straßenverkehrslärm von etwa 2 sone (40 dB(A)) unterlagert. Die subjektive Beurteilung der Geräuschemissionen erfolgte nach der Methode der Linienlänge. Dabei wird sowohl die instantan wahrgenommene Lautheit als auch die über 15 Minuten gemittelte globale Lautheit auf die Länge einer Linie abgebildet (Details s. Fastl 1991). Die physikalischen Messungen wurden mit folgenden Geräten durchgeführt: einem Schallpegelmessgerät nach IEC 651, einem Lautheitsmessgerät nach Zwicker et al. (1985) mit Statistikanalysator, sowie einem Terzanalysator, der über IEC-Bus mit einem PC verbunden war, mit dem anhand des in DIN 45631 beschriebenen Rechenprogramms die Lautheit berechnet werden konnte.

Ergebnisse

Figur 1 zeigt die Lautheits-Zeitmuster der Vorbeifahrtgeräusche eines Diesel-PKW für 50 km/h (a) und 30 km/h (b). Wegen der größeren Geschwindigkeit ist das Lautheits-Zeitmuster in Fig. 1a "spritziger" als das Muster in Fig. 1b. Beispielsweise dauert bei 3/4 der Maximallautheit die Vorbeifahrt für 30 km/h doppelt so

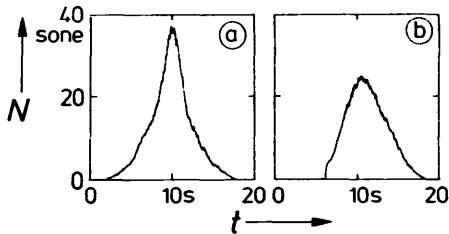


Fig. 1: Lautheits-Zeitmuster des Vorbeifahrtgeräusches eines Diesel-PKW bei konstanter Geschwindigkeit von 50 km/h (a) bzw. 30 km/h (b).

lange wie für 50 km/h. Die Maximallautheit beträgt 36.8 sone in Fig. 1a und 25.1 sone in Fig. 1b. Die zugehörigen Lautstärkepegel betragen 92.0 phon und 86.5 phon. Werden, wie derzeit üblich, die maximalen A-bewerteten Schallpegel mit "fast" gemessen, so ergeben sich 73.2 dB(A) für 50 km/h und 66.2 dB(A) für 30 km/h. Einem Unterschied von 7 dB(A) entspricht demnach ein Unterschied von nur 5.5 phon. Diese Differenz rührt daher, daß ein einkanaliges, in Schallpegelmessern realisiertes Meßverfahren Klangfarbenunterschiede durch unterschiedliche Kfz-Betriebszustände nicht erfaßt. Daher wurde jeweils für L_{AFmax} eine Terzanalyse durchgeführt und nach DIN 45631 ein Lautheits-Tonheitsmuster erstellt. In Fig. 2 sind die Ergebnisse dargestellt: Das Muster in Fig. 2b liegt nicht nur niedriger, sondern es zeigen sich bei tiefen Tonheiten bis zu $z = 2$ Bark ($f = 200$ Hz) zusätzliche Spektralanteile, die bei einkanaliger Messung durch das A-Filter stark abgeschwächt werden. Deshalb wird durch den A-bewerteten Schallpegel ein größerer Unterschied zwischen den Geräuschen vorgetäuscht. Die in Fig. 2 angegebenen Lautheiten von $N = 32.72$ sone bzw. 22.68 sone bei L_{AFmax} liegen im Vergleich zu den Lautheitsmaxima gemäß Fig. 1 um 13 % bzw. 11 % zu niedrig. Bei Anwendung der Zeitkonstante "fast" wird demnach die Lautheit von Dieselgeräuschen im Vergleich zur gehörrichtigen Zeitbewertung des Lautheitsmessers nach Zwicker unterschätzt.

Die subjektive Beurteilung der Geräusche ergab, daß die Vorbeifahrt mit 50 km/h um den Faktor 1.30 lauter empfunden wird als die Vorbeifahrt mit 30 km/h (Zentralwert aus 32 Daten 1.30 mit wahrscheinlichen Schwankungen von + 0.06 und - 0.11). Das Verhältnis der maximalen Lautheiten gemäß Fig. 1 ergibt den Faktor 1.47, gemäß Fig. 2 den Faktor 1.44. Dies bedeutet im Einklang mit Literaturdaten (Fastl 1987, Widmann 1990), daß die Geräuschemission von KFZ anhand einer Perzentil-Lautheit (hier N_9) beschrieben werden kann, die knapp unter dem Maximum liegt.

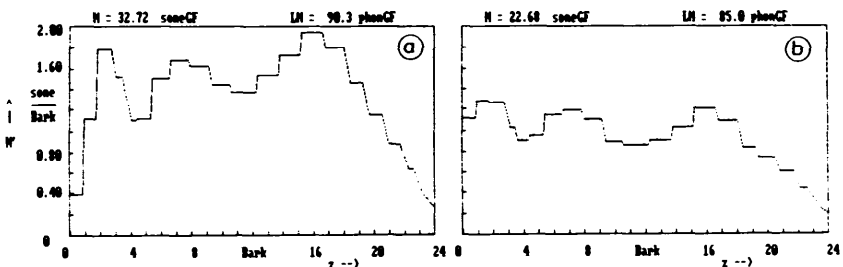


Fig. 2: Lautheits-Tonheitsmuster der Vorbeifahrtgeräusche gemäß Fig. 1 zum Zeitpunkt L_{AFmax} .

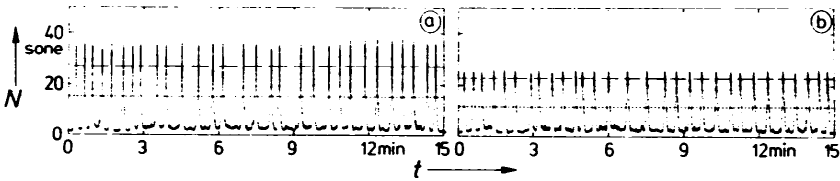


Fig. 3: Lautheits-Zeitmuster der Geräuschimmission bei 30 Vorbeifahrten mit 50 km/h (a) bzw. 30 km/h (b). Gestrichelt: äquivalente Dauerlautheit; punktiert: aus L_{eq} - Werten berechnete Lautheit.

Figur 3 zeigt die Lautheits-Zeitmuster der für die Immissionsmessungen verwendeten Geräusche. Die gepunkteten horizontalen Geraden repräsentieren diejenige Lautheit, die sich ergibt, wenn in jeder Terz über 15 Minuten der L_{eq} gebildet, und aus diesen Daten nach DIN 45631 die Lautheit berechnet wird. Die gestrichelten Geraden in Fig. 3 repräsentieren die aus subjektiven Beurteilungen abgeleitete äquivalente Dauerlautheit. Die Ermittlung dieser Werte soll anhand von Fig. 4 erläutert werden. Der ausgefüllte Kreis mit wahrscheinlichen Schwankungen repräsentiert subjektive Beurteilungen, der Linienzug physikalische Beurteilungen anhand des Lautheitsmessers nach Zwicker.

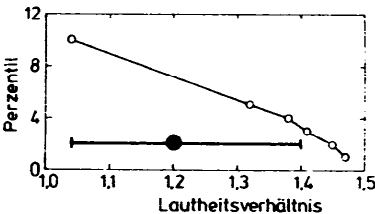


Fig. 4: Lautheitsverhältnis der Geräuschimmissionen bei 50 km/h und 30 km/h. Ausgefüllter Kreis und Balken: subjektive Beurteilung; Linienzug: physikalische Beurteilung anhand der Perzentillautheit.

Wie bereits erwähnt, wurde die über 15 min gemittelte globale Lautheitsbeurteilung auf eine Linienlänge abgebildet. Das Verhältnis der Linienlängen für Geräuschimmissionen bei 50 km/h (Fig. 3a) bzw. 30 km/h (Fig. 3b) wurde für acht Versuchspersonen ermittelt, und ist in Fig. 4 als ausgefüllter Kreis mit horizontalen Balken dargestellt. Versuchspersonen erscheinen Lärmimmissionen von KFZ mit 50 km/h im Mittel um den Faktor 1.20 lauter als Immissionen von KFZ mit 30 km/h. Wie erwartet ist wegen der längeren Hörbarkeit der Geräusche der langsameren Fahrzeuge der Unterschied in der Lärmimmission (Faktor 1.20) geringer als bei der Emission (Faktor 1.30). Allerdings muß dieses Ergebnis wegen den großen wahrscheinlichen Schwankungen (vgl. Fig. 4) als vorläufig angesehen werden. Trotz dieser Einschränkungen ergibt sich gemäß Fig. 4, daß die subjektiven Lautheitsverhältnisse physikalisch gemessenen Lautheitsverhältnissen bei niedrigen Perzentilen entsprechen. Dies bedeutet im Einklang mit Literaturdaten (Fastl 1991), daß Perzentilwerte der Lautheit knapp unter den Lautheitsmaxima die äquivalente Dauerlautheit bestimmen. Die entsprechenden Werte sind in Fig. 3 beispielhaft für N_7 , welches einem Lautheitsverhältnis von 1.20 entspricht, als gestrichelte Geraden eingetragen. Ein Vergleich der gestrichelten und gepunkteten Kurven in Fig. 3 verdeutlicht, daß für die globale Lautheitsbeurteilung von Lärm-

immissionen die lauten Anteile des Geräusches maßgebend sind (Fastl et al. 1989, Namba et al. 1988), und der L_{eq} die äquivalente Dauerlautheit erheblich unterschätzt.

Zusammenfassung

Die Lärmreduktion durch Geschwindigkeitsbeschränkungen kann wegen der immanenten Klangfarbenänderungen nur mit mehrkanaligen Meßverfahren richtig erfaßt werden. Bei Terzpegelanalysen mit der Zeitkonstante "fast" wird die Lautheit der Geräuschemission von KFZ um mehr als 10% unterschätzt. Perzentil-Lautheiten bei niedrigen Perzentilen gestatten eine gehörigte Erfassung der Geräuschemission von KFZ (Fastl 1987). Die Lärmimmission von KFZ-Geräuschen wird von den lauten Geräuschteilen geprägt (Fastl 1991); der äquivalente Dauerschallpegel unterschätzt die wahrgenommene Dauerlautheit um mehr als den Faktor 1.7. Bei Geschwindigkeitsbeschränkungen steht der geringeren Lautheit der Fahrzeuge deren längere Hörbarkeit in ruhiger Umgebung entgegen. Deshalb müßte die Geräuschreduktion bei der Emission ausgeprägter sein als bei der Immission. Obwohl die hier vorgestellten Meßdaten diese Hypothese bestätigen, sind angesichts der wahrscheinlichen Schwankungen bei der Immissionsbeurteilung weitere Messungen nötig um zu besser abgesicherten Daten zu gelangen.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204 Gehör München gefördert.

Literatur

- Fastl, H. (1987) How loud is a passing vehicle? In: Proc. inter-noise'87, Vol. II, 993-996 (1987).
- Fastl, H. (1991) Beurteilung und Messung der wahrgenommenen äquivalenten Dauerlautheit. Z. f. Lärmbekämpfung (im Druck).
- Fastl, H., Zwicker, E., Kuwano, S., Namba, S., (1989) Beschreibung von Lärmimmissionen anhand der Lautheit. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'89
- Namba, S., Kuwano, S., Fastl, H. (1988) Loudness of road traffic noise using the method of continuous judgement by category. In: Noise as a Public Health Problem, Stockholm, Sweden, 241-246.
- Widmann, U., (1990) Beschreibung der Geräuschemission von Kraftfahrzeugen. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'90, Verl.: DPG-GmbH, Bad Honnef, 751-754.
- Zwicker, E., Deuter, K., Peisl, W., (1985) Loudness meters based on ISO 532 B with large dynamic range. In: Proc. inter-noise'85, Vol. II, 1119-1122.
- Zwicker, E., Fastl, H., (1990) Psychoacoustics - Facts and Models. Springer-Verlag, Heidelberg.