

Subjektive und meßtechnische Beurteilung von Pkw-Emissions- und Immissionsgeräuschen

Spatzl, M. *, Widmann, U. *, Fastl, H.

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

1. Einleitung

Bei der Beurteilung von Geräuschen wird häufig nach der Einwirkdauer zwischen kurzdauernden Ereignissen (Emissionen) und längerandauernden Schalleinwirkungen (Immissionen) unterschieden.

In der Literatur existieren mehrere Untersuchungen (z. B. /1/, /2/), die der Frage nachgehen, ob durch die Verwendung gehöradäquater Meßverfahren die subjektive Beurteilung der Emission bzw. der Immission von Schallen besser nachgebildet werden kann als durch herkömmliche physikalische Meßverfahren.

Am Beispiel der Beurteilung der Emissions- und Immissionsgeräusche eines Pkw soll diese Thematik weiter untersucht werden. Zusätzlich soll der Einfluß einer Absenkung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h im Stadtverkehr und von 100 km/h auf 80 km/h auf Landstraßen auf die Lärmbeurteilung betrachtet werden.

Dabei soll insbesondere geprüft werden, ob bei der Beurteilung der Lärmimmissionen der positive Effekt einer Reduktion der Lautheit einer einzelnen Vorbeifahrt bei Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit /2/ durch eine längere Hörbarkeit der langsameren Vorbeifahrten relativiert wird.

2. Messungen

Die Vorbeifahrgeräusche der untersuchten Pkw wurden in Anlehnung an DIN ISO 362 /3/ mit Hilfe eines tragbaren DAT-Rekorders einkanalig, unbewertet bei den Geschwindigkeiten 30km/h, 50km/h, 80km/h und 100 km/h aufgenommen und im Labor durch Ein- und Ausblenden auf Schalle mit jeweils 40 sec. Dauer verkürzt.

3. Experimente

Neun normalhörenden Versuchspersonen, im Alter von 24 bis 47 Jahren, die sich in einer schallabsorbierenden Meßzelle befanden, wurden die Schalle diotisch über einen freifeldentzerrten Kopfhörer /4/ dargeboten.

Bei der Emissionsbeurteilung hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, die Lautheit der einzelnen Vorbeifahrgeräusche anhand der Methode der Größenschätzung ohne Ankerschall auf ein Antwortformular zu notieren. Bei dieser Methode wird dem gehörten Schall irgendeine positive Zahl zugeordnet, die der empfundenen Lautheit entspricht.

Für die Immissionsbeurteilung wurden Bänder von 15 Minuten Dauer bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Schallpegeln ($L_{eq,30km/h}=45,2$ dB(A), $L_{eq,50km/h}=49,6$ dB(A), $L_{eq,80km/h}=55,1$ dB(A), $L_{eq,100km/h}=58,3$ dB(A)) erstellt. Dabei wurden, um realistische Verkehrssituationen nachzubilden, die Geräusche von jeweils 15 einzelnen Vorbeifahrten mit leisem Hintergrundgeräusch überlagert.

Die Beurteilung der Geräuschimmissionen erfolgte nach Beendigung der 15-minütigen Schalldarbietung. Von den Versuchspersonen wurde die wahrgenommene Gesamtlautheit zum einen auf die Länge einer Linie abgebildet /1/, zum anderen mit Hilfe der Meßmethode der absoluten Größenschätzung beurteilt.

* Jetzt: Müller-BBM GmbH, Schalltechnisches Beratungsbüro, Planegg

4. Ergebnisse

In Bild 1 sind die subjektiven Lautheitsverhältnisse (Zentralwerte mit Wahrscheinlichen Schwankungen) für die zu vergleichenden Emissionsgeräusche angetragen. Eine 50 km/h-Vorbeifahrt wird um den Faktor 1,2 lauter empfunden als eine Vorbeifahrt mit 30 km/h (linkes Teilbild), eine Vorbeifahrt mit 100 km/h um den Faktor 1,14 lauter als eine 80 km/h-Vorbeifahrt (rechtes Teilbild).

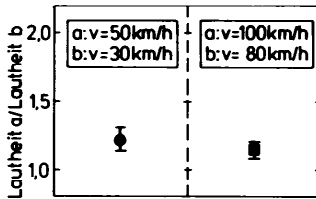


Bild 1: Verhältnisse der Lautheitsbeurteilung einzelner Vorbeifahrgeräusche. Linkes Teilbild: Vergleich von $v=50$ km/h und $v=30$ km/h. Rechtes Teilbild: Vergleich von $v=100$ km/h und $v=80$ km/h.

In Bild 2 werden die für die Emissionsgeräusche subjektiv angegebenen Lautheitsverhältnisse den physikalisch gemessenen Perzentillautheiten N_x gegenübergestellt. Die Perzentillautheit N_x gibt an, daß in $x\%$ des Analysezeitraums die Lautheit N erreicht oder überschritten wurde. Diese Werte wurden mit einem Lautheitsmesser gemäß ISO 532 B und einem Statistikanalysator gemessen [5].

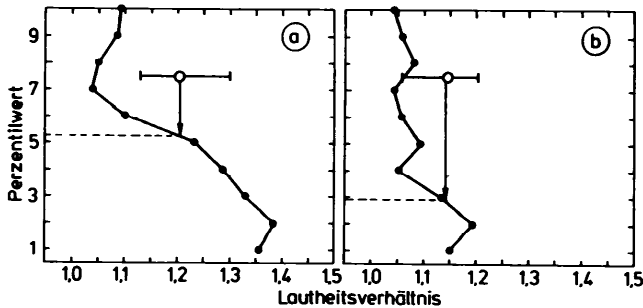


Bild 2: Lautheitsverhältnisse der Geräuschemissionen von Vorbeifahrten bei (a) $v=50$ km/h im Vergleich zu $v=30$ km/h sowie (b) $v=100$ km/h im Vergleich zu $v=80$ km/h. Offene Kreise und Balken: subjektive Beurteilung. Linienzug: Verhältnisse der physikalisch gemessenen Lautheitswerte für verschiedene Perzentile.

Die vertikalen Pfeile in Bild 2 zeigen, daß die subjektiv beurteilten Lautheitsverhältnisse durch physikalisch gemessene Lautheitsverhältnisse bei niedrigen Perzentilen (N_5 bzw. N_3) repräsentiert werden. Dies bedeutet, daß durch die mit einem Lautheitsmeßsystem ermittelte Lautheit, die in 3-5% der Meßzeit erreicht oder überschritten wird, die Lautheit der Emissionsgeräusche von Pkw-Vorbeifahrten ausgezeichnet nachgebildet werden kann.

In Bild 3 sind die Lautheitsverhältnisse der subjektiven Beurteilung der Geräuschemissionen abgebildet, die mit Hilfe der Meßmethode der absoluten Größenschätzung (Kreise) bzw. Linielänge (Quadrate) erzielt wurden.

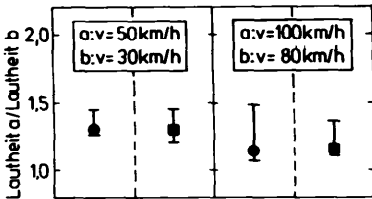


Bild 3: Verhältnisse der subjektiven Lautheitsbeurteilung von Immissionsgeräuschen. Linkes Teilbild: Vergleich von $v=50$ km/h und $v=30$ km/h. Rechtes Teilbild: Vergleich von $v=100$ km/h und $v=80$ km/h. Kreise: Ergebnisse der Größenschätzung. Quadrate: Ergebnisse mit der Methode der Linienlänge.

Der Zentralwert mit den Wahrscheinlichen Schwankungen kam dadurch zustande, daß zuerst das Verhältnis der absoluten Größenschätzung bzw. Linienlänge der zu vergleichenden Versuche von jeder einzelnen Versuchsperson gebildet wurde und anschließend der Zentralwert und die Wahrscheinliche Schwankungen aller Versuchspersonen berechnet wurden.

Die Ergebnisse der linken Bildhälfte zeigen, daß den Versuchspersonen Pkw-Vorbeifahrten mit 50 km/h im Mittel um den Faktor 1,3 lauter erschienen als Immissionsgeräusche von Pkw mit 30 km/h.

Bei höheren Geschwindigkeiten (rechte Bildhälfte) ist der Unterschied nicht ganz so ausgeprägt. Der Immissionsversuch mit den 100 km/h-Vorbeifahrten wird im Mittel in seiner Lautheit um den Faktor 1,15 (absolute Größenschätzung) bzw. 1,14 (Linienlänge) lauter empfunden als der Immissionsversuch mit den 80 km/h-Vorbeifahrten.

In beiden Fällen liefern die unterschiedlichen Meßmethoden übereinstimmende Ergebnisse. Die Beurteilung der Immissionsgeräusche unterscheidet sich nur unwesentlich von den in Bild 1 dargestellten Emissionsbeurteilungen.

In Bild 4 sind die gemessenen Lautheitsverhältnisse der zu vergleichenden Immissionsversuche in Abhängigkeit der Perzentile dargestellt. Vergleicht man die Ergebnisse der subjektiven Lautheitsbeurteilung mit den physikalisch gemessenen Lautheitswerten, so ergibt sich wiederum, daß durch Perzentillautheiten nahe dem Lautheitsmaximum die subjektive Beurteilung von Lärmimmissionen gut beschrieben werden.

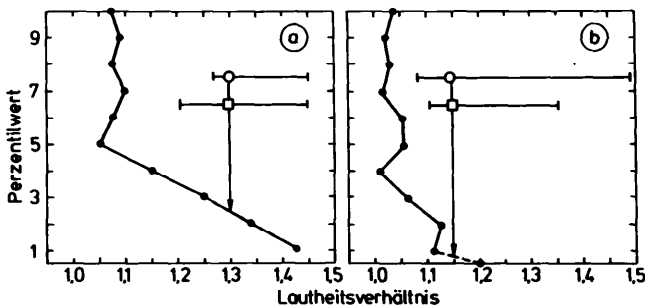


Bild 4: Lautheitsverhältnisse der Geräuschimmissionen bei (a) $v=50$ km/h und $v=30$ km/h (b) $v=100$ km/h und $v=80$ km/h. Offene Symbole und Balken: subj. Beurteilung (Kreise: Größenschätzung, Rechtecke: Methode der Linienlänge). Linienzug: Verhältnisse der physikalisch gemessenen Perzentillautheiten.

Damit werden die in einer Pilotstudie /2/ mit einem anderen Fahrzeugtypen ermittelten Ergebnisse bestätigt, die zeigen, daß durch Messung einer Perzentillautheit die subjektive Beurteilung der Lautheit von Verkehrslärm sowohl für kurzdauernde als auch für längerandauernde Schalleinwirkungen ausgezeichnet beschrieben werden kann.

Vergleicht man dagegen die subjektiven Beurteilungen mit einer anderen objektiven Meßgröße, dem A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel, so stellt man fest, daß dieser die subjektive Immissionsbeurteilung überschätzt.

Bildet man dazu aus den gemessenen L_{eq} -Werten (vgl. Abschnitt 3) die Verhältnisse der A-bewerteten Schalleistung der einzelnen Immissionsversuche mit einem Halbierungsparameter von $q=3$ so ergeben sich deutlich größere Verhältnisse. Beim Vergleich der Immissionsversuche für Stadtverkehr resultiert ein Faktor 2,8 und beim Vergleich der Immissionsversuche für die Landstraßen ein Faktor 2,1.

5. Zusammenfassung

Für Pkw-Geräusche wurde die Abnahme der Lautheit durch die Reduktion der Geschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h bzw. von 100 km/h auf 80 km/h sowohl für die Emission als auch für die Immission untersucht. Im Stadtverkehr liegt die damit verbundene Lautheitsreduktion bei etwa 30%, auf Landstraßen bei etwa 15%. Die Veränderung der Lärmimmission kann im Rahmen der Schwankungen anhand der Emissionsdaten gut abgeschätzt werden. Für die subjektive Beurteilung sind sowohl die Meßmethode der absoluten Größenschätzung als auch die Methode der Linienlänge gut geeignet.

Anhand einer Perzentillautheit nahe am Lautheitsmaximum können die subjektiven Beurteilungen im Rahmen der Wahrscheinlichen Schwankungen gut nachgebildet werden. Der derzeit zur Geräuschbewertung verwendete äquivalente A-bewertete Dauerschallpegel L_{eq} überschätzt mit seinem Halbierungsparameter von $q = 3$ die wahrgenommenen Lautheitsunterschiede erheblich. Die Annahme, daß bei Geschwindigkeitsbeschränkungen aufgrund der längeren Hörbarkeit einzelner Vorbeifahrten die Geräuschreduktion bei der Immission geringer wäre als bei der Emission konnte nicht bestätigt werden.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 204 "Gehör", München, gefördert.

Literatur

- /1/ Fastl, H., (1991), Beurteilung und Messung der wahrgenommenen äquivalenten Dauerlautheit. Z. f. Lärmbekämpfung 38, 98 - 103.
- /2/ Fastl, H., Widmann, U., Kuwano, S., Nambo, S., (1991), Zur Lärminderung durch Geschwindigkeitsbegrenzungen. In: Fortschritte der Akustik, DAGA '91, Verl.: DPG-GmbH, Bad Honnef.
- /3/ DIN ISO 362, (1981): Messung des von beschleunigten Straßenfahrzeugen abgestrahlten Geräusches - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2. Beuth Verlag, Berlin.
- /4/ Zwicker, E., Fastl, H., Psychoacoustics - facts and models, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1990.
- /5/ Zwicker, E., Deuter, K., Peisl, W., Loudness meters based on ISO 532 B with large dynamic range. In: Proc. interneise '85, Vol. II, 1119-1122.