

Subjektive Beurteilung der Lautheit und der Psychoakustischen Lästigkeit von PKW-Geräuschen

U. Widmann, Lehrstuhl f. Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München
jetzt: Müller-BBM GmbH, Schalltechnisches Beratungsbüro, Planegg b. München

Einleitung

Straßenverkehrslärm ist in allen hoch entwickelten Ländern zu einem bedeutenden Problem geworden. Ein Großteil der Bevölkerung fühlt sich sehr oder andauernd durch Verkehrslärm belästigt. Deshalb nimmt die Lärmbekämpfung bei Straßenverkehrslärm eine hohe Priorität im Umweltschutz ein.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, inwieweit eine in Zwickers Sinne /3/ verstandene Psychoakustische Lästigkeit von Verkehrsgeräuschen von der Lautheit beeinflusst wird. Die Übereinstimmung unterschiedlicher physikalischer Meßgrößen der Geräusche mit der subjektiven Beurteilung wird betrachtet und es wird gezeigt, wie diese mit der gefahrenen Geschwindigkeit zusammenhängen.

Messungen

Im realen Straßenverkehr entfällt der größte Teil der Stichproben auf die Kategorie der PKW. Um den Zusammenhang zwischen Geräuschbeurteilung und objektiven Meßgrößen zu untersuchen, wurden Geräuschmessungen bei konstanten Vorfahrten von PKW unternommen. Die Schalle wurden dazu in zwei Meßsituationen unbewertet auf ein tragbares Tonbandgerät aufgenommen (vgl. /1/).

Die von Verkehrslärmemissionen hervorgerufene Psychoakustische Lästigkeit wurde in einem Hörversuch durch Größenschätzung ohne Ankerschall bestimmt. Bei den Vorfahrgeräuschen wurde darauf geachtet, daß sich die Maxima der Lautheit jeweils in der zeitlichen Mitte der Darbietung befanden. Bei der Schallauswahl wurden absichtlich auch teilweise untypische Fahr-situationen berücksichtigt, um möglichst viele Komponenten der Psychoakustischen Lästigkeit von PKW zu erfassen.

Es nahmen acht Versuchspersonen im Alter zwischen 25 und 35 Jahren an der Untersuchung teil. Die Schalle wurden diotisch über freifeldentzerrte Kopfhörer dargeboten. Als Testmaterial dienten 22 PKW-Geräusche, deren objektive Beschreibung in Tab. 1 zusammengefaßt ist. Die Schalle hatten jeweils eine Dauer von 15 s und waren durch Pausen von 5 s voneinander getrennt, in denen die Versuchsperson den gehörten Schall beurteilen sollte.

Die subjektiven Urteile wurden hinsichtlich Zentralwert und Wahrscheinlicher Schwankung ausgewertet. Zur meßtechnischen Bewertung der Schalle wurden die Zeitverläufe der Lautheit (N) und des A-bewerteten Schallpegels (L) der einzelnen Vorfahrten mit einem Analysesystem mit nachgeschaltetem Statistikanalysator ausgewertet.

Aus den gemessenen A-bewerteten Schallpegeln (L) wurde die Größe $10^{L/10}$ berechnet um ein lineares Maß zu erhalten, das der abgestrahlten Schalleistung proportional ist.

Als Maß für die Übereinstimmung von subjektiver Beurteilung und meßtechnischen Größen wurde jeweils die mittlere quadratische Abweichung berechnet.

Ergebnisse

Die Zentralwerte und Wahrscheinlichen Schwankungen der subjektiven Beurteilung der relativen Psychoakustischen Lästigkeit (ausgefüllte Kreise) und der Lautheit (offene Kreise) der Testschalle zeigt Abb. 1. Sie wurden auf die Beurteilung von Schall 9, einer konstanten Vorfahrt mit 110 km/h, normiert. Ebenfalls eingetragen sind beispielhaft die meßtechnisch ermittelten rel. Perzentilwerte N_5 (Dreiecke) bzw. $10^{LAF5/10}$ (Kreuze).

Die Ergebnisse zeigen, daß die subjektive Beurteilung von Lautheit und Psychoakustischer Lästigkeit weitgehend übereinstimmt. Der Korrelationsfaktor beträgt 0.98.

Tabelle 2 stellt die mittleren quadratischen Abweichungen der subjektiven Beurteilung den meßtechnisch ermittelten Größen gegenüber. Die Ergebnisse zeigen, daß die Perzentillautheit N_5 (Dreiecke in Abb. 1) die geringsten Abweichungen zur subjektiven Beurteilung der Lautheit aufweist

Schall-Nr.	Motor	v / (km/h)	gef. Gang	Getriebe	Abstand / m
1	Diesel	60	3	4-Gang	7.5
2	Otto	30	1	4-Gang	7.5
3	Diesel	70	2	5-Gang	7.5
4	Otto	80	3	4-Gang	7.5
5	Otto	80	3	4-Gang	15.0
6	Diesel	35	1	5-Gang	7.5
7	Diesel	70	4	5-Gang	7.5
8	Otto	50	2	4-Gang	7.5
9	Diesel	110	4	4-Gang	7.5
10	Diesel	beschl. Anfahrt	1	5-Gang	7.5
11	Diesel	Kavallerstart	1	5-Gang	7.5
12	Otto	60	3	5-Gang	7.5
13	Diesel	30	1	5-Gang	7.5
14	Otto	50	2	4-Gang	3.75
15	/	60 (Rollen)	Leerlauf	5-Gang	7.5
16	Diesel	60	4	4-Gang	7.5
17	Otto	DIN ISO 362	2	4-Gang	7.5
18	Diesel	80	3	5-Gang	3.75
19	Diesel	50	2	4-Gang	3.75
20	Diesel	80	3	5-Gang	3.75
21	Diesel	90	4	5-Gang	7.5
22	Otto	80	3	4-Gang	3.75

Tab. 1: Übersicht über die Testschleife des Hörversuches

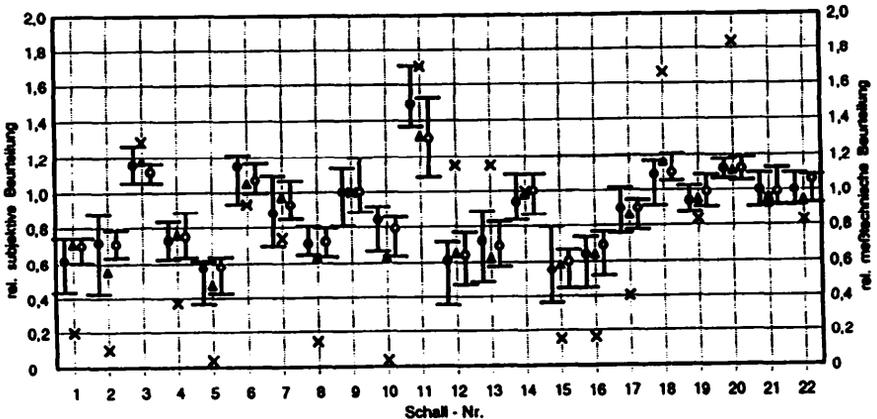


Abb. 1: Rel. Psychoakustische Lästigkeit (ausgefüllte Kreise) und rel. Lautheit (offene Kreise) von PKW-Geräuschen. Zentralkwerte und Wahrscheinliche Schwankungen für acht Versuchspersonen. Dreiecke: rel. Perzentillautheit N_5 ; Kreuze: rel. $10^{LAFS,70}$

Vergleicht man das subjektive Urteil mit den aus den A-bewerteten Schallpegeln berechneten Verhältnissen zeigen sich starke Fehleinschätzungen (Kreuze in Abb. 1). Die mittleren quadratischen Abweichungen liegen deutlich höher.

Meßgröße	mittlere quadratische Abweichung zur subjektiven Lautheitsbeurteilung in %	mittlere quadratische Abweichung zur Beurteilung der Psychoakustischen Lästigkeit in %
N_{max}	1.4	2.0
N_5	0.4	0.7
N_{10}	1.8	1.3
L_{AFmax}	25.8	25.5
L_{AF5}	17.0	16.1
L_{AF10}	35.4	31.1

Tab.2: Abweichungen unterschiedlicher Meßgrößen zur subjektiven Beurteilung.

Dies bestätigt Untersuchungsergebnisse aus der Literatur, daß durch Messung einer Perzentillautheit N_5 die subjektive Beurteilung der Lautheit von Verkehrsgeräuschen gut nachgebildet werden kann. Nach diesen Ergebnissen sollte für zeitvariable Schalle der Lautheitswert N_5 zur Bildung der Psychoakustischen Lästigkeit herangezogen werden.

Da die Lautstärke einer Vorbeifahrt wesentlich von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängt, wird nachfolgend abgeleitet, wie die meßtechnisch ermittelte Lautheit N_5 mit dieser zusammenhängt. In einem Zwischenschritt wird die maximale Lautheit N_{max} betrachtet.

In Abb. 2 sind die Maximalwerte der gemessenen Lautheit über der gefahrenen Geschwindigkeit aufgetragen. Zur besseren Übersicht wurden die Datensätze innerhalb des großen Geschwindigkeitsbereichs zu Klassen von 10 km/h zusammengefaßt. Die Daten stammen aus einer Untersuchung von 1746 Pkw-Vorbeifahrten.

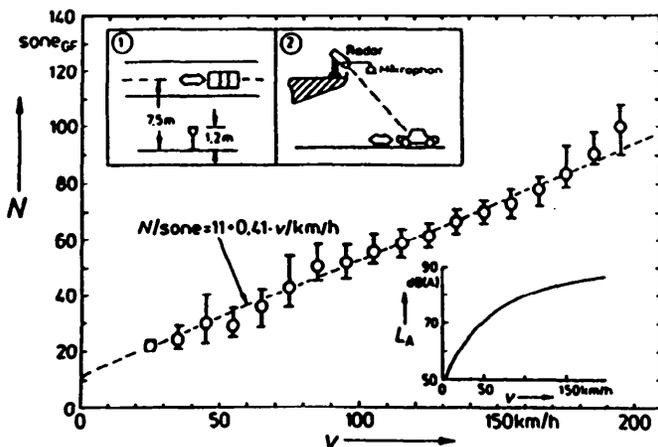


Abb. 2: Lautheit N_{max} von PKW als Funktion der gefahrenen Geschwindigkeit. Daten von 1746 PKW-Vorbeifahrten. Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen. Skizze: Meßaufbau zur Bestimmung der Geräuschemission: 1) Vorbeifahrten in 7.5 m Entfernung, 2) Messung von Brücke auf Autobahnen. Untere Skizze: Abhängigkeit des A-bewerteten Schallpegels von der gefahrenen Geschwindigkeit.

Die Zentralwerte der maximalen Lautheit N_{max} steigen im gesamten Bereich linear an und gehorchen der eingetragenen Näherung, deren Fußpunkt bei kleinen Geschwindigkeiten sich an gemessenen Werten von Leerlaufstandgeräuschen in 7.5 m Entfernung orientiert.

Die im unteren Teilbild aufgetragenen A-bewerteten Schallpegel L_{AFmax} ergeben einen logarithmischen Zusammenhang, der in guter Übereinstimmung mit Daten aus der Literatur ist /5/. Um die Perzentillautheit N_5 von Vorbeifahrgeräuschen als Funktion der gefahrenen Geschwindigkeit zu gewinnen, wurden Aufnahmen einzelner Vorbeifahrten statistisch ausgewertet. Bei der Analyse wurde von einer Meßzeit von 15 s ausgegangen und darauf geachtet, daß der Maximalwert der Lautheit in der zeitlichen Mitte des Analysezeitraumes lag. Da Daten von eigenen Vorbeifahrten nur im unteren Geschwindigkeitsbereich bis etwa 110 km/h vorliegen, und statistische Auswertungen der Autobahnmessungen nur eingeschränkt möglich war, wird die Beschreibung von N_5 für den gesamten Geschwindigkeitsbereich aus den unterschiedlichen Steigungen in Abb. 3 und der Näherungsgleichung aus Abb. 2 errechnet.

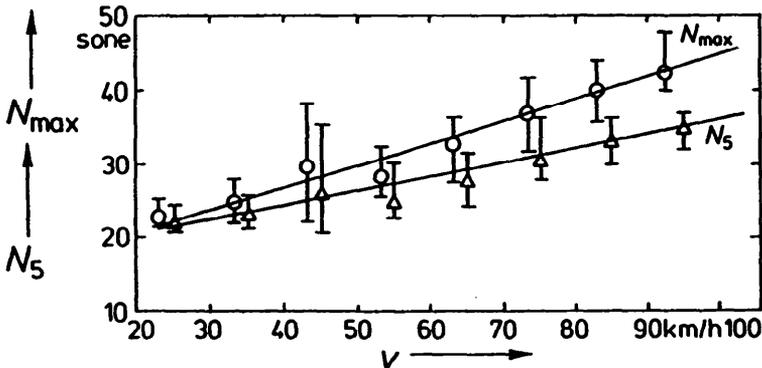


Abb. 3: Vergleich von N_{max} (Kreise) und N_5 (Dreiecke) als Funktion der gefahrenen Geschwindigkeit. Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen für fünf Test-Pkw.

Es ergibt sich folgende Abhängigkeit der Perzentillautheit N_5 von der Fahrgeschwindigkeit (v):

$$N_5 / \text{sone} \approx 11 + 0.29 \cdot v / \text{km/h}$$

Für freifließenden Verkehr kann über diese einfache Funktion die Lärmabnahme durch eine Geschwindigkeitsbegrenzung abgeschätzt werden. Reduziert man die gefahrene Geschwindigkeit von beispielsweise 150 km/h auf 100 km/h so ergibt sich für die Perzentillautheit N_5 eine Reduktion von etwa 27%.

Zusammenfassung

Die Lautheit der Vorbeifahrgeräusche liefert den größten Beitrag zur Psychoakustischen Lästigkeit. Die subjektive Beurteilung orientiert sich dabei an „Spitzenwerten“ und kann durch Auswertung der Perzentillautheit N_5 meßtechnisch ausgezeichnet nachgebildet werden. Für überwiegend freifließenden Verkehr erlauben die angegebenen Näherungen eine einfache Abschätzung der möglichen Lärminderung durch Geschwindigkeitsreduzierung.

Literatur

- /1/ Widmann, Beschreibung der Geräuschemission von Kraftfahrzeugen anhand der Lautheit. DAGA '90. /2/ Fastl, H., Widmann, U., Kuwano, S., Namba, S., Zur Lärminderung durch Geschwindigkeitsbegrenzungen. DAGA '91. /3/ Zwicker, E. Ein Vorschlag zur Definition und Berechnung der unbeeinflussten Lästigkeit. Z.f. Lärmbek. 38 /4/ Fastl, H., Zur Lärminderung durch Geschwindigkeitsbegrenzungen. DAGA '91. /5/ Steven, H., Geräuschemissionen von Kraftfahrzeugen im Straßenverkehr, Einflußparameter und Minderungsmöglichkeiten. DAGA '88.