

## **Beschreibung der Geräuschemission von Kraftfahrzeugen anhand der Lautheit**

**U. WIDMANN**

(Institut für Elektroakustik, TU München)

### **1. EINLEITUNG**

Wie in der Literatur bereits häufig gezeigt werden konnte, stellt die wahrgenommene Lautheit eine wesentliche Einflußgröße zur Beschreibung der von Verkehrslärm herrührenden Belästigung dar /1/, /2/, /3/. Obwohl mit einem Lauthheitsmeßsystem nach ISO 532 B /4/,/5/ die wahrgenommene Lautstärke gehörrichtig nachgebildet werden kann, wird nach DIN 45636 /6/ der A-bewertete Schallpegel als Maß für die Lärmentwicklung eines Fahrzeuges herangezogen.

Daher beschreibt diese Arbeit die Abhängigkeit der Geräuschemission von der gefahrenen Geschwindigkeit anhand der Lautheit und stellt für konstante Vorbeifahrten Ergebnisse aus beiden Meßverfahren gegenüber. Anschließend werden die meßtechnisch gewonnenen Daten mit der subjektiven Beurteilung verglichen.

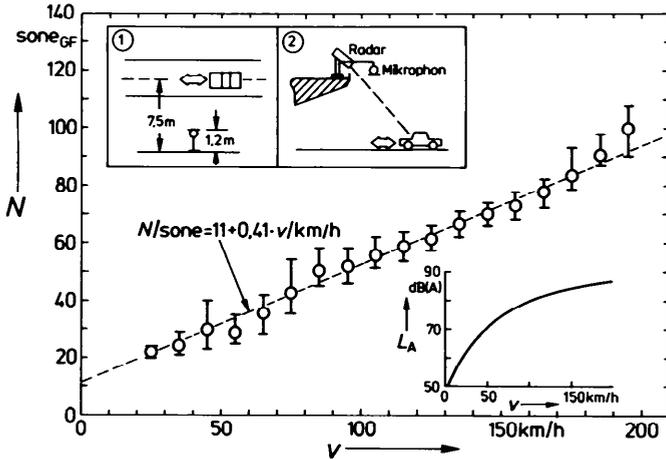
### **2. MESSUNGEN**

Die Schallsignale wurden in zwei Meßsituationen (vgl. obere Skizze in Bild 1) aufgenommen. Zum einen wurden eigene Testfahrten in Anlehnung an DIN 45636 unternommen, bei denen der Zustand der Testfahrzeuge genau bekannt war. Die Fahrzeuggeschwindigkeit wurde mit einem Dopplerradar ermittelt. Die Schallaufzeichnung erfolgte unbewertet auf ein tragbares Tonbandgerät (NAGRA IV-SJ). Der größte Teil der Aufnahmen entstand bei Messungen auf Brücken im frei fließenden Verkehr auf Autobahnen. Durch gelegentlich durchgeführte Parallelmessungen in den beiden Meßsituationen war es möglich die Ergebnisse aus den Autobahnmessungen auf die Meßanordnung nach DIN 45636 zu übertragen.

### **3. ERGEBNISSE**

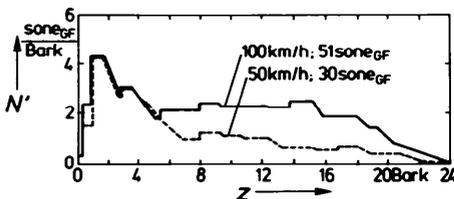
Bei Geräuschmessungen im realen Verkehr entfällt der größte Teil der Stichproben auf die Kategorie der PKW. Für diese Fahrzeugart sind in Bild 1 für konstante Vorbeifahrten die Maximalwerte der Lautheit, wie sie von einem Lauthheitsmesser nach ISO 532 B angezeigt werden, über der Geschwindigkeit aufgetragen. Zur besseren Übersicht wurden die Datensätze innerhalb des großen Geschwindigkeitsbereichs zu Klassen von 10 km/h für beide Meßsituationen zusammengefaßt. Die Zentralwerte der Lautheit steigen im gesamten Bereich linear mit der Fahrzeuggeschwindigkeit an und gehorchen der eingetragenen Näherung, deren Fußpunkt bei kleinen Geschwindigkeiten sich an den Werten des Leerlaufstandgeräusches in 7,5 m Entfernung (vgl. Bild 3, Situation 1) orientiert. Trägt man dagegen die sich ergebenden Daten als A-bewerteten Schallpegel (vgl. untere Skizze in Bild 1) auf, so findet man einen logarithmischen Zusammenhang, der bei hohen Geschwindigkeiten

fast keinen Anstieg mehr zeigt. Reduziert man beispielsweise die Geschwindigkeit von 150 km/h auf 100 km/h so ergibt sich eine Reduktion des A-bewerteten Schallpegels um lediglich 6%. Die Abnahme der Lautheit beträgt aber 28%.



**Bild 1:** Lautheit von PKW als Funktion der Geschwindigkeit. Daten von 1746 PKW-Vorbeifahrten. Obere 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.

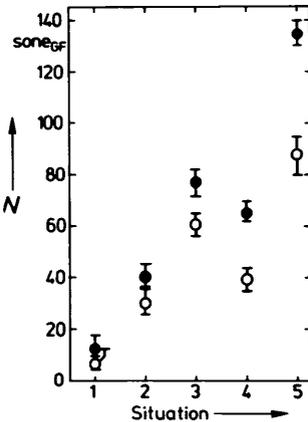
In Bild 2 sind die spezifischen Lautheits-Tonheitsdiagramme dargestellt, wie sie zur Zeit des Maximalwertes unterschiedlich schnell gefahrener, konstanter Vorbeifahrten eines PKW auftreten. Während bei niedrigen Geschwindigkeiten allein das Motorgeräusch dominiert, treten mit zunehmender Geschwindigkeit je nach Fahrzeugbeschaffenheit Spektralanteile bei höheren Frequenzen auf. Dies ist ein Hinweis darauf, daß andere Komponenten, vor allem Reifen- und Windgeräusche, in zunehmendem Maße zur Lärmentwicklung beitragen. Im dargestellten Beispiel erhöht sich dadurch bei Geschwindigkeitsverdopplung die Lautheit um etwa 70%. Bei Fahrzeugen mit grobstolliger Bereifung oder Breitreifen wird der Einfluß des Rollgeräuschs



**Bild 2:** Lautheitsmuster für zwei Vorbeifahrten eines PKW mit unterschiedlicher Geschwindigkeit.

bereits bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten im spezifischen Lautheits-Tonheitsmuster deutlich. Die Geräusche, die ein KFZ im Straßenverkehr emittiert, hängen daher nicht nur von der gefahrenen Geschwindigkeit, sondern auch von weiteren Parametern ab. So beeinflusst die Wahl der Getriebestufe die Emission bei niedrigen

Geschwindigkeiten und führt zu den etwas größeren wahrscheinlichen Schwankungen in Bild 1, wenn in einer Geschwindigkeitsklasse Meßwerte verschiedener Gänge zusammengefaßt werden. Einen wesentlichen Einfluß auf die Lärmentwicklung hat die Fahrweise. In Bild 3 sind für PKW und Motorräder die gemessenen maximalen Lautheitswerte für verschiedene Fahrsituationen aufgetragen. Für beide Fahrzeugarten ergeben sich für beschleunigte Fahrten deutlich höhere Lautheiten. Vergleicht man die Geräuschemission beider Fahrzeugkategorien, so zeigt sich, daß Krafräder in allen Fahrsituationen höhere Lautheitswerte erzeugen. Während bei konstanter Fahrweise der Unterschied nur etwa 30-35% beträgt, so ergibt sich in Situation 5 eine Erhöhung der Lautheit um über 50%. Der dabei auftretende Absolutwert der Lautheit liegt unverantwortlich hoch.



**Bild 3:** Lautheit für verschiedene Situationen bei PKW und Motorrädern. Vorbeifahrt in 7,5 m Entfernung. Daten von vier Mittelklassemotorrädern (ausgefüllt) und vier PKW (offen) im Vergleich.

- 1 Standgeräusch
- 2 konst. Fahrt mit 50 km/h
- 3 konst. Fahrt mit 120 km/h
- 4 beschl. Fahrt nach DIN 46636
- 5 beschl. Fahrt, hohe Geschwindigkeit

#### 4. LAUTHEIT UND BELÄSTIGUNG

Die von einzelnen PKW-Geräuschen hervorgerufene Lautheit und Belästigung wurde durch Größenschätzung ohne Ankerschall untersucht. Es nahmen acht Versuchspersonen im Alter zwischen 25 und 35 Jahren an den Experimenten teil. Die Schalle wurden diotisch über Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeldentzerrer /7/ in einer schallabsorbierenden Meßzelle dargeboten. Als Testmaterial dienten 26 PKW-Geräusche (Stand- und Anfahrgeräusche, konstante und beschleunigte Vorbeifahrten). Die Schalle hatten eine Dauer von jeweils 15 sec. und waren durch Pausen von 5 sec. voneinander getrennt, in denen die Personen den gehörten Schall schriftlich beurteilen mußten. Bei den Vorbeifahrgeräuschen wurde darauf geachtet, daß sich die Maxima der Lautheit jeweils in der zeitlichen Mitte der Darbietung befanden. Jede Versuchsperson führte für Lautheit und Lästigkeit jeweils vier Größenschätzungen durch.

Diese Hörtests ergeben, daß die subjektive Beurteilung von Lautheit und Belästigung sehr gut übereinstimmt. Es ergibt sich ein Korrelationsfaktor von 0,98. Dies steht im Einklang mit Daten aus der Literatur /2/. Vergleicht man, inwieweit das Belästigungsempfinden der Personen durch die meßtechnische Erfassung der Lautheit

nach ISO 532 B nachgebildet wird, so findet man ebenfalls eine ausgezeichnete Übereinstimmung, wenn die Testschalle statistisch ausgewertet werden, wie dies von Fastl /8/ vorgeschlagen wurde.

Wird die Perzentillautheit  $N_5$  verwendet, d.h. derjenige Lautheitswert der in 5% des Meßzeitraumes erreicht oder überschritten ist, so beträgt der Korrelationsfaktor 0.93. Vergleicht man das subjektive Urteil mit einem anderen Lärmbewertungsverfahren, der Messung der A-bewerteten Schalleistung, so ergibt sich eine starke Unterschätzung der Belästigungswirkung von Verkehrslärm. Die quantitativen Verhältnisse zwischen den einzelnen Testschallen werden nur ungenügend nachvollzogen. Insgesamt zeigt sich ein wesentlich niedriger Korrelationskoeffizient von 0.71, wenn man ebenfalls den statistischen Wert der Schalleistung  $P_5$  anwendet. Vergleicht man die subjektiven Urteile mit den maximal auftretenden Schalleistungswerten, so sinkt der Korrelationskoeffizient noch weiter auf 0.61.

## 5. Zusammenfassung

Im Gegensatz zum A-bewerteten Schallpegel, der logarithmisch von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängt, gilt für die Lautheit nach ISO 532 B ein linearer Zusammenhang. Für überwiegend freifließenden Verkehr erlaubt diese einfache Funktion eine einfache Abschätzung der mit einer Geschwindigkeitsreduzierung erzielbaren Lärmreduzierung. Der Beitrag einzelner geräuschrelevanter Baugruppen zur gesamten Emission eines Fahrzeuges kann anhand des spezifischen Lautheits-Tonheitsmusters gehörrichtig analysiert werden, so daß Lärminderungsmaßnahmen wirkungsvoll geplant und durchgeführt werden können. Darüber hinaus kann die Belästigung durch Geräuschemissionen von Straßenverkehr sehr gut mit einem Lautheitsmesser nach ISO 532 B, wie er von Zwicker und Fastl (1983) vorgeschlagen wurde, nachgebildet werden.

Der Autor dankt Prof. Dr. Ing. E. Zwicker und PD Dr. Ing. habil H. Fastl für wertvolle Hinweise. Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204 "Gehör", München, gefördert.

## LITERATUR

- /1/ Fastl, H. (1985): Loudness and annoyance of sounds: subjective evaluation and data from ISO 532 B, In: Proc. Internoise '85. /2/ Weber u. Mellert V. (1978): Vergleichende Beurteilung von Verkehrsgeräuschen - Korrelation mit Lautstärkeparametern, In: Fortschritte der Akustik DAGA '78. /3/ Zwicker, E. (1967): Ein Beitrag zur Unterscheidung von Lautstärke und Lästigkeit, Acustica 17. /4/ Zwicker, E. und Fastl H. (1983): A portable loudnessmeter based on ISO 532 B. Proc. 11. ICA Paris, Vol. 8. /5/ ISO 532 B. Method for calculating loudness level. /6/ DIN 45636. Außengeräuschmessung an Kraftfahrzeugen. /7/ Zwicker, E. und Feldtkeller, R. (1967): Das Ohr als Nachrichtenempfänger. 2.erw. Auflage, Hirzel-Verlag, Stuttgart. /8/ Fastl, H. (1987): How loud is a passing vehicle ?, In: Proc. Internoise '87.