

## Beschreibung von Lärmimmissionen anhand der Lautheit

H. Fastl, E. Zwicker, S. Kuwano\*, S. Namba\*

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

\* Universität Osaka, Japan

### Einführung

Die Emission von Lärmquellen, wie beispielsweise Kreissägen oder Drucker, kann durch den Maximalwert der Lautheit gemäß DIN 45631 gehörig richtig erfaßt werden (Fastl 1988). Bei Problemen der Lärmimmission liegen häufig zeitlich schwankende Geräusche vor, die über einen längeren Zeitraum einwirken. Deshalb beruht sowohl die subjektive als auch die meßtechnische Beurteilung von Immissionen auf "zeitlichen Mittelwerten". Für die subjektive Beurteilung von Straßenverkehrslärm haben Kuwano und Namba (1978) eine fortlaufende Skalierung in sieben Kategorien zwischen "sehr leise" und "sehr laut" vorgeschlagen. Eine wesentlich feinere Auflösung der subjektiven Urteile ergibt sich, wenn die aktuell wahrgenommene Lautstärke auf die Länge einer Linie abgebildet wird. Dieses von Stevens und Guirao bereits 1963 vorgeschlagene Verfahren wurde in einen PC implementiert, so daß die Länge der Linie auf dem Bildschirm durch cursor-Tasten verändert werden kann.

In dieser Arbeit wird die subjektive und meßtechnische Beurteilung von Lärmimmissionen am Beispiel von Straßenverkehrslärm erläutert. Die während 17 min Verkehrslärm von den Versuchspersonen angegebenen wahrgenommenen Lautstärke-schwankungen werden mit dem Urteil über die "mittlere" wahrgenommene Lautstärke verglichen. Darüber hinaus werden die mit einem Lautheitsmesser (Zwicker et al. 1985) gemessenen Lautheitsschwankungen den Schwankungen der auf die Linienlänge abgebildeten wahrgenommenen Lautstärke gegenübergestellt. Es wird aufgezeigt, wie sich aus den Lautheitsperzentilen für "leisen" bzw. "lauten" Straßenverkehrslärm anhand der Angaben der Versuchspersonen über die "mittlere" wahrgenommene Lautstärke Aussagen über die "äquivalente Dauerlautheit" von Straßenverkehrslärm ableiten lassen.

### Messungen

Alle Hörversuche wurden von acht normalhörenden Versuchspersonen im Alter von 24 bis 44 Jahren durchgeführt. Die beiden, jeweils 17 min langen Straßenverkehrsgeräusche wurden beidohrig (diotisch) über elektrodynamische Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeldentzerrer nach Zwicker und Feldtkeller (1967, S. 40) dargeboten. Ein Straßenverkehrsgeräusch wurde in einer ruhigen Wohngegend, das andere Verkehrsgeräusch jedoch an einer dicht befahrenen Ringstraße auf Magnetband aufgezeichnet. Aufgabe der Versuchsperson war es, durch Betätigen der cursor-Tasten die auf dem Bildschirm eines PCs dargestellte Linie so zu verändern, daß deren Länge zu jedem Zeitpunkt der wahrgenommenen Lautstärke des Verkehrslärms entsprach. Am Ende eines jeden Teilversuchs hatte die Versuchsperson die "mittlere" wahrgenommene Lautstärke des 17-minütigen Verkehrsgeräusches auf die Länge einer Linie abzubilden. Um den Versuchspersonen die "Meßmethode der Linienlänge" zu erläutern, wurde vor dem ersten Versuch in einer 3-minütigen Trainingsphase zeitlich unregelmäßig schwankendes Rosa Rauschen dargeboten. Nach diesem Training begann eine Hälfte der Versuchspersonen mit der Beurteilung des "leisen", die andere Hälfte mit der Beurteilung des "lauten" Straßenverkehrsgeräusches. Die Länge der auf dem Bildschirm dargestellten Linie wurde alle 100 ms abgetastet und im PC gespeichert. Nach Korrektur der zwischen 0,8s und 3,7s (Median 2,05 s) langen "Reaktionszeit" der

Versuchspersonen wurde über die Linienlängen aller acht Personen arithmetisch gemittelt. Aus den Angaben der Versuchspersonen über die "mittlere" wahrgenommene Lautstärke wurden Zentralwerte und wahrscheinliche Schwankungen gebildet.

Die statistische Auswertung der Lautheit nach DIN 45631 der Straßenverkehrsgeräusche wurde mit einem Lautheitsmesser (Zwicker et al. 1985) und einem Lautheitsstatistikanalytator durchgeführt. Dabei wurde die Ausgangsspannung des Lautheitsmessers alle 1,3 ms abgetastet. Aus diesen Daten wurden die Perzentilwerte der Lautheit berechnet.

### Ergebnisse

Fig. 1 zeigt die von den acht Versuchspersonen angegebenen, der aktuellen wahrgenommenen Lautstärke entsprechenden Linienlängen für das "leise" (a) bzw. das "laute" (b) Straßenverkehrsgeräusch. Die Gesamtdauer jedes Geräusches beträgt etwa 17 min. Beim "leisen" Verkehrsgeräusch (a) führen Einzelereignisse wie ein vorbeifahrendes Motorrad bei 13,5 min zu deutlichen Spitzen; dazwischen befinden sich längere ruhige Abschnitte (z. B. bei 4,5 oder 16 min). Beim "lauten" Verkehrsgeräusch (b) erscheinen die Spitzen in dichter Folge, und es treten keine ruhigen Abschnitte auf. Entsprechend der größeren wahrgenommenen Lautstärke werden von den Versuchspersonen längere Linien auf dem Bildschirm eingestellt. Die der "mittleren" wahrgenommenen Lautstärke entsprechende Linienlänge ist in Fig. 1 durch horizontale Linien angegeben. Die dicke gestrichelte Linie repräsentiert den Zentralwert der Urteile der acht Versuchspersonen; die dünnen Linien deuten die zugehörigen wahrscheinlichen Schwankungen an.

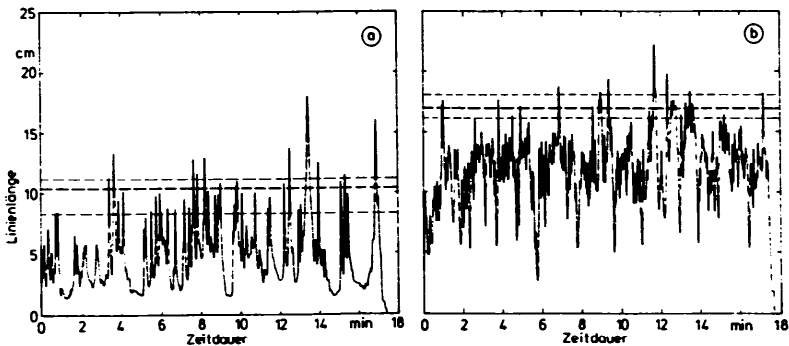


Fig. 1: Subjektive Beurteilung eines "leisen" (a) und eines "lauten" (b) Straßenverkehrsgeräusches. Kurve: Linienlänge entsprechend der aktuellen wahrgenommenen Lautstärke. Horizontale gestrichelte Geraden: "mittlere" wahrgenommene Lautstärke der jeweils 17 min langen Verkehrsgeräusche.

Die in Fig. 1 dargestellten Ergebnisse zeigen, daß sich die "mittlere" wahrgenommene Lautstärke an den lautesten Geräuschteilen orientiert, und nicht etwa dem Mittelwert aller innerhalb der 17 min Verkehrslärm angegebenen Linienlängen entspricht. Dies bedeutet, daß für die globale Lautheitsbeurteilung die lautesten Schallanteile die entscheidende Rolle spielen.

Fig. 2 zeigt die mit einem Lautheitsmesser gemessenen Lautheits-Zeitmuster des "leisen" (a) bzw. "lauten" (b) Straßenverkehrsgeräusches. Die Maxima und Minima der Lautheits-Zeitverläufe gemäß Fig. 2 entsprechen den Maxima und Minima der Zeitmuster der Linienlängen gemäß Fig. 1. Während für das "leise" Verkehrsgeräusch (a) eine gute Übereinstimmung von subjektiver (Fig. 1a) und mestechnischer (Fig. 2a) Beurteilung erreicht wird, ergeben sich beim "lauten" Verkehrsgeräusch (b) einige Abweichungen in der Ausprägtheit der Spitzen. Diese Unterschiede rühren größtenteils daher, daß die Änderungsgeschwindigkeit der Linienlänge aus technischen Gründen begrenzt war und deshalb sehr schnelle

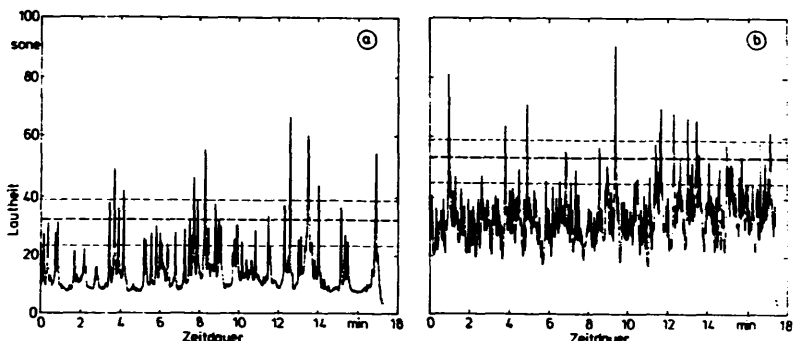


Fig. 2: Mestechische Beurteilung der Straßenverkehrsgeräusche gemäß Fig. 1 mit einem Lautheitsmesser nach DIN 45631. Kurve: Lautheits-Zeitfunktion. Horizontale gestrichelte Geraden: "äquivalente Dauerlautheit".

Lautheitsänderungen (z. B. bei 9 min in Fig. 2b) mit der Linienlänge nicht rasch genug nachvollzogen werden konnten. Hier muß die Implementierung der "Methode der Linienlänge" noch verbessert werden. Dennoch ist bereits jetzt festzustellen, daß die Schwankungen der wahrgenommenen Lautstärke (Fig. 1) mit den Schwankungen der vom Lautheitsmesser angezeigten Lautheit (Fig. 2) im wesentlichen übereinstimmen.

In Fig. 2 ist durch gestrichelte horizontale Linien die jeweilige "äquivalente Dauerlautheit" angegeben, deren Berechnung im folgenden erläutert wird: Fig. 3 zeigt die Perzentilwerte der Lautheit für das "leise" (gestrichelt) bzw. das "laute" (durchgezogen) Straßenverkehrsgeräusch. Je nach betrachtetem Perzentilwert variiert der Lautheitsunterschied von "lautem" und "leisem" Verkehrsgeräusch zwischen dem Faktor 1,43 beim Perzentilwert  $N_1$  und 3,34 beim Perzentilwert  $N_{90}$ .

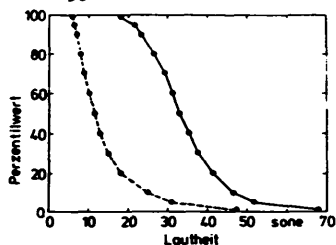


Fig. 3: Perzentilwerte der Lautheit für "leises" (gestrichelt) bzw. "lautes" (durchgezogen) Straßenverkehrsgeräusch.

Dieses Lautheitsverhältnis ist in Fig. 4 für Perzentilwerte zwischen 1 und 20 als Kurvenzug dargestellt. Der ausgefüllte Kreis mit wahrscheinlichen Schwankungen in Fig. 4 repräsentiert die Verhältnisse der Linienlängen für die "mittlere wahrgenommene Lautstärke" des "lauten" bzw. "leisen" Straßenverkehrslärms. Über 17 min gemittelt erscheint den acht Versuchspersonen der "laute" Verkehrslärm um den Faktor 1,65 (Zentralwert) lauter als der "leise" Verkehrslärm. Die zugehörigen wahrscheinlichen Schwankungen ergeben Faktoren von 1,59 bzw. 1,98. Wie in Fig. 4 durch die Pfeile angedeutet, werden die zu diesen Faktoren gehörenden Perzentilwerte bestimmt. Für den Zentralwert (Kreis) ergibt sich ein Perzentilwert von 4,5; für die wahrscheinlichen Schwankungen betragen die Perzentilwerte 3 bzw. 12,5. Dies bedeutet, daß dem Verhältnis der "mittleren" wahrgenommenen Lautstärke von 1,65 (Zentralwert) ein Perzentilwert der meßtechnisch erfaßten Lautheit von 4,5 entspricht.

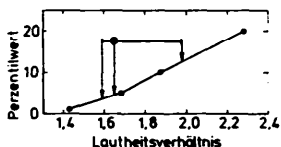


Fig. 4: Verhältnis der Lautheiten von "lautem" und "leisem" Straßenverkehrslärm. Kurvenzug: Lautheitsverhältnis bei verschiedenen Perzentilwerten. Symbol: Verhältnis der Linienlängen für "mittlere wahrgenommene Lautstärke" (Zentralwert und wahrscheinliche Schwankungen).

Gemäß Fig. 3 repräsentiert ein Perzentilwert von  $N_{4,5}$  eine Lautheit von 53,5 sone für den "lauten" Verkehrslärm und von 32,5 sone für den "leisen" Verkehrslärm. Entsprechende Berechnungen können für die zu den wahrscheinlichen Schwankungen gehörenden Perzentilwerte angestellt werden. Auf diese Art und Weise wird die "äquivalente Dauerlautheit" gewonnen, die in Fig. 2 durch horizontale gestrichelte Linien angegeben ist. Analog zur subjektiven Beurteilung (Fig. 1) ergibt sich auch für die meßtechnische Beurteilung (Fig. 2) von lange andauernden Geräuschen, daß die "mittlere" Lautheit von den lautesten Geräuschanteilen bestimmt wird und deutlich über einem zeitlich gemittelten Lautheitswert liegt.

#### Ausblick

Das hier vorgestellte Verfahren zur Ermittlung der "äquivalenten Dauerlautheit" von Lärmmissionen läßt sich nicht nur bei Straßenverkehrslärm, sondern bei allen Arten von Lärmmissionen anwenden. Es wird zu prüfen sein, ob für sämtliche Lärmarten derselbe Perzentilwert der Lautheit als Maß für die "äquivalente Dauerlautheit" verwendet werden kann.

#### Literatur

- DIN 45631 Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum. Verfahren nach E. Zwicker.
- Fastl, H. (1988) Gehörbezogene Lärmmeßverfahren. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'88, Verl.: DFG-GmbH, Bad Honnef, 111-124.
- Kuwano, S., and Namba, S. (1978) On the loudness of road traffic noise of longer duration (20 min) in relation to instantaneous judgement. *J. Acoust. Soc. Am.* 64, S 127- S 128.
- Stevens, S.S., and Guirao, M. (1963) Subjective scaling of length and area and the matching of length to loudness and brightness. *J. Ex. Psych.* 66, 177-186.
- Zwicker, E. und Feldtkeller, R. (1967) Das Ohr als Nachrichtenempfänger, 2. erw. Auflage, Hirzel-Verlag, Stuttgart.
- Zwicker, E., Deuter, K. und Peisl, W. (1985) Loudness meters based on ISO 532 B with large dynamic range. In: Proc. inter-noise'85, Vol. II, 1119-1122.