

Mittlere Lautheit bei Lärmereignissen unterschiedlicher Anzahl und Art

H. FASTL, E. ZWICKER, S. KUWANO*, S. NAMBA*

(Institut für Elektroakustik, TU München, *Universität Osaka, Japan)

Einleitung

Die wahrgenommene "mittlere" Lautheit von Straßenverkehrslärm wird durch laute Lärmereignisse bestimmt (Fastl et al. 1989). Für die physikalische Messung der "äquivalenten Dauerlautheit" von Straßenverkehrslärm hat sich die Perzentillautheit N_4 bewährt, die mit einem Lautheitsmesser nach Zwicker et al. (1985) und einem Statistik-Analysator gemessen werden kann. Dabei wird zuerst der Zeitverlauf der Lautheit nach DIN 45631 gemessen und anschließend statistisch ausgewertet. Wird im Gegensatz dazu durch Bildung des äquivalenten Dauerschallpegels zuerst in Terzbändern zeitlich gemittelt und dann erst die Lautheit nach DIN 45631 berechnet, so ergeben sich physikalische Meßwerte, die im Vergleich zur subjektiven Beurteilung um mehr als 50 % zu niedrig liegen (Fastl 1990). Bei Straßenverkehrslärm wird demnach die globale Lautheitsbeurteilung von den lautesten Schallanteilen stark beeinflusst (Fastl 1989). In dieser Arbeit wird untersucht, ob dies auch für andere Arten von Lärm wie Fluglärm oder Schienenlärm und auch für Schalle wie Sprache oder Musik gilt. Neben der Art der Ereignisse wird auch deren Häufigkeit innerhalb eines Zeitraumes von 30 Minuten variiert. Insbesondere wird untersucht, ob die wahrgenommene "mittlere" Lautheit verschiedenartigster Lärmereignisse ebenfalls durch einen Perzentilwert der Lautheit nahe beim Maximalwert beschrieben werden kann. Darüber hinaus wird gezeigt, wie stark ein aus dem äquivalenten Dauerschallpegel berechneter Lautheitswert von der subjektiven Beurteilung abweicht.

Messungen

Die Messungen wurden mit acht normalhörenden Versuchspersonen im Alter von 27 bis 44 Jahren (Median 30 Jahre) in einer schallgedämmten Meßzelle durchgeführt. Die Schalle wurden diotisch über elektrodynamische Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeldentzerrer nach Zwicker und Feldtkeller (1967, S. 40) dargeboten. Als Lärmereignisse wurden etwa 10 s lange Ausschnitte aus Fluglärm, Schienenlärm, Straßenverkehrslärm, Impulslärm, Rosa Rauschen, Sprache und Musik dargeboten (vgl. Kuwano et al. 1986), denen ein leises Verkehrsgeräusch unterlagert war. Insgesamt wurden 10 Testschalle von je 30 min Dauer auf DAT gespeichert. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die jeweilige Anzahl der Lärmereignisse sowie den Anteil von Fluglärm, Schienenlärm und Straßenlärm. Beispielsweise wurden bei Schall 1 während 30 min 36 Lärmereignisse dargeboten, bei Schall 10 jedoch 64 Ereignisse. Bei Schall 9 ist der Anteil von Schienenlärm groß, während bei Schall 10 Straßenlärm dominiert. In Fig. 1a sind die mit einem Lautheitsmesser (Zwicker et al. 1985) gemessenen Lautheits-Zeitmuster von Schall 1, in Fig. 1b die Muster von Schall 10 dargestellt. Während der Darbietung eines Schalles beurteilten

Zahl der Ereignisse:	Schall									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
insgesamt	36	40	40	40	48	48	48	64	64	64
Fluglärm	4	8	4	4	16	4	4	32	4	4
Schielenlärm	4	4	8	4	4	16	4	4	32	4
Straßenlärm	4	4	4	8	4	4	16	4	4	32

Tabelle 1 Übersicht über die Anzahl und Art der in den Schallen 1 bis 10 enthaltenen Lärmereignisse.

die Versuchspersonen die instantan wahrgenommene Lautheit mittels einer siebenstufigen Kategorienskala (vgl. Kuwano und Fastl 1989). Im Anschluß daran beurteilten die Versuchspersonen die "mittlere" Lautheit der vorangegangenen 30 min Lärm wie folgt: Auf einem Fragebogen war eine horizontale Linie abgebildet. Die Versuchsperson sollte einen Längenabschnitt so markieren, daß die Linielänge der wahrgenommenen "mittleren" Lautheit entspricht (vgl. Fastl et al. 1989, Fastl 1990). Für jeden Schall und jede Versuchsperson wurde die so erhaltene Linielänge auf die für Schall 1 angegebene Linielänge normiert. Aus den jeweils acht Längenverhältnissen wurde für jeden Schall der Zentralwert mit wahrscheinlichen Schwankungen gebildet (vgl. Fig. 2).

Die physikalischen Messungen wurden mit einem Lautheitsmesser nach Zwicker et al. (1985) und einem Statistik-Analysator durchgeführt. Für alle 10 Schalle wurden die Perzentilwerte der Lautheit zwischen N_1 und N_{99} in 1%-Schritten ermittelt. Bei jedem Lautheitsperzentil wurden die Lautheitswerte der 10 Schalle auf den Lautheitswert von Schall 1 normiert, so daß sich 10 Lautheitsverhältnisse für jeden der 99 Perzentilwerte ergaben. Mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate wurde dasjenige Lautheitsperzentil bestimmt, für das die Lautheitsverhältnisse am besten mit den Längenverhältnissen der für die wahrgenommene "mittlere" Lautheit angegebenen Linielängen übereinstimmten. Schließlich wurde für jeden der 10 Schalle der über 30 min in Terzbändern gemittelte äquivalente Dauerschallpegel gemessen. Aus diesen Terzpegeln wurde anhand des in DIN 45631 publizierten Rechenprogramms die Lautheit berechnet.

Ergebnisse

Fig. 1a zeigt das Lautheits-Zeitmuster für Schall 1, Fig. 1 b dasjenige für Schall 10. Die mit einem Lautheitsmesser nach Zwicker et al. (1985) gemessene Lautheit ist als Funktion der Zeit dargestellt. Die größere Anzahl von Lärmereignissen bei Schall 10 spiegelt sich im Lautheits-Zeitmuster deutlich wider. Der den Lärmereignissen unterlagerte leise Straßenverkehrslärm erzeugt eine nahezu konstante "Grundlautheit" von etwa 2 sone. Die gepunkteten horizontalen Linien in Fig. 1 repräsentieren Lautheitswerte, die aus dem in Terzbändern gemessenen äquivalenten Dauerschallpegel von Schall 1 bzw. 10 berechnet wurden. Die in Fig. 1 als gestrichelte horizontale Linien dargestellten Meßwerte entsprechen der wahrgenommenen "mittleren" Lautheit der beiden je 30 min langen Schalle. Diese Lautheitswerte wurden aus den subjektiven Beurteilungen der Schalle folgendermaßen abgelei-

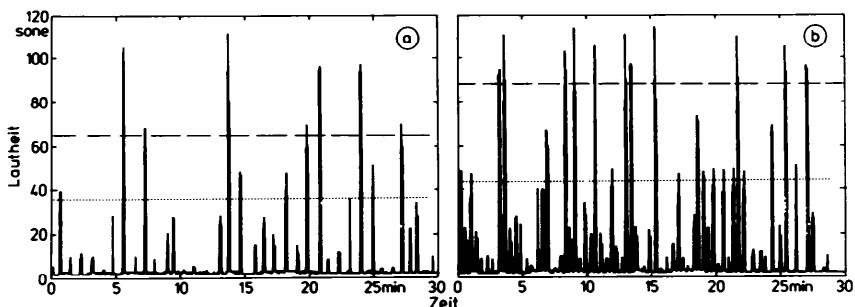


Fig. 1: Lautheits-Zeitmuster (a) von Schall 1 bzw. (b) von Schall 10. Gestrichelte Linien: "mittlere" wahrgenommene Lautheit; gepunktete Linien: aus dem äquivalenten Dauerschallpegel berechnete Lautheit.

tet: Zunächst wurde das Verhältnis der für die "mittlere" Lautheit angegebenen Linienlängen gebildet, das einen Zahlenwert von 1,31 ergibt. Bei den physikalischen Messungen wird dieser Zahlenwert am besten durch die Perzentillautheit N_2 nachgebildet. Daher wird die Perzentillautheit N_2 als physikalisches Maß für die wahrgenommene "mittlere" Lautheit verwendet. Die in Fig. 2 dargestellten Ergebnisse ermöglichen analoge Betrachtungen für alle 10 verwendeten Schalle. Sämtliche Daten sind auf die Werte für Schall 1 normiert. Die Symbole repräsentieren Zentralwerte mit wahrscheinlichen Schwankungen der subjektiv beurteilten "mittleren" Lautheit. Die mit durchgezogenen Linien verbundenen Punkte geben die physikalisch ermittelten Lautheitsverhältnisse für die Perzentillautheit N_2 an. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung von subjektiver und meßtechnischer Beurteilung, die anhand von Fig. 3 näher erläutert wird. Dort ist für die Schalle 1 bis 10 die zur Charakterisierung der wahrgenommenen "mittleren" Lautheit angegebene Linienlänge (Zentralwerte mit wahrscheinlichen Schwankungen) als Funktion der zugehörigen Perzentillautheit N_2 dargestellt. Die gestrichelte Linie verdeutlicht den engen Zusammenhang von subjektiver und meßtechnischer Beurteilung.

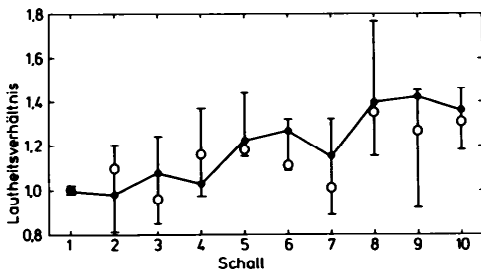


Fig. 2: Verhältnis der Lautheiten der Schalle 1 bis 10. Symbole: Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen der für die wahrgenommene "mittlere" Lautheit angegebenen Linienlängen, normiert auf die Linienlänge für Schall 1. Punkte verbunden mit durchgezogenen Linien: Perzentillautheiten N_2 normiert auf den Wert von N_2 für Schall 1.

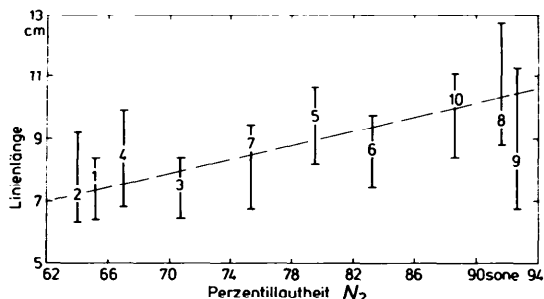


Fig. 3: Zusammenhang zwischen der "mittleren" wahrgenommenen Lautheit, ausgedrückt durch die Linienlänge, und der Perzentillautheit N_2 für die Schalle 1 bis 10.

Insgesamt ist festzustellen, daß die Perzentillautheit N_2 die wahrgenommene "mittlere" Lautheit von Schallen, die Lärmereignisse unterschiedlicher Anzahl und Art enthalten, sehr gut beschreibt. Wird im Gegensatz dazu versucht, die wahrgenommene "mittlere" Lautheit anhand des äquivalenten Dauerschallpegels zu beschreiben, so ergeben sich deutliche Diskrepanzen zwischen subjektiver und meßtechnischer Beurteilung. Ein Vergleich der in Fig. 1 durch gepunktete bzw. gestrichelte Linien dargestellten Ergebnisse verdeutlicht, daß bei Anwendung des äquivalenten Dauerschallpegels die wahrgenommene "mittlere" Lautheit etwa um den Faktor 2 unterschätzt wird. Dies rührt daher, daß die wahrgenommene "mittlere" Lautheit wesentlich von den lauten Lärmereignissen geprägt wird. Diese subjektive Beurteilung von Lärmmissionen kann durch statistische Analyse der mit einem Lautheitsmesser (Zwicker et al. 1985) meßtechnisch erfaßten Lautheits-Zeitfunktion in guter Näherung nachgebildet werden.

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

Literatur

- Fastl, H. (1989) Average loudness of road traffic noise. In: Proc. inter-noise'89, Vol. II, 815-820.
- Fastl, H. (1990) Evaluation and measurement of perceived average loudness. In: Contributions to Psychological Acoustics V, (A. Schick, J. Hellbrück, R. Weber Eds.), BIS Oldenburg.
- Fastl, H., Zwicker, E., Kuwano, S., Namba, S. (1989) Beschreibung von Lärmmissionen anhand der Lautheit. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'89, Verl.: DPG-GmbH, Bad Honnef, 751-754.
- Kuwano, S., Namba, S., und Fastl, H. (1986) Loudness evaluation of various sounds by Japanese and German subjects. In: Proc. inter-noise'86, Vol. II, 835-840.
- Kuwano, S. and Fastl, H. (1989) Loudness evaluation of various kinds of non-steady state sound using the method of continuous judgment by category. In: Proc.13 ICA, Vol. 1, 365-368.
- Zwicker, E. and Feldtkeller R. (1967) Das Ohr als Nachrichtenempfänger, 2. erw. Auflage, Hirzel-Verlag, Stuttgart.
- Zwicker, E., Deuter, K. and Peisl, W. (1985) Loudness meters based on ISO 532 B with large dynamic range. In: Proc. inter-noise'85, Vol. II, 1119-1122.