

BEURTEILUNG LÄRMARMER FAHRBAHNBELÄGE MIT EINEM LAUTHEITSMESSER

H. Fastl und E. Zwicker

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

Einleitung

Der Lärm, den Kraftfahrzeuge bei hohen Geschwindigkeiten erzeugen, hängt wesentlich von der Art der Reifen (Ronneberger, 1985) und vom Fahrbahnbelag (von Meier, 1985) ab. Bei der Beurteilung der verschiedenen Lärmquellen ist es zweckmäßig, nicht den Einzahlwert des A-bewerteten Schallpegels zu benutzen, sondern die verschiedenen Lärmquellen bezüglich ihrer Lautheitsanteile zu analysieren. Bei der Beurteilung von Verkehrslärm hat sich die Messung der Lautheit (Weber und Mellert, 1978) und die Darstellung im Lautheits-Tonheitsmuster bereits sehr gut bewährt (Fastl, 1985). Es entstand daher die Frage, ob mit Hilfe der Lautheitsmessung auch der Einfluß des Fahrbahnbelages auf Autobahnabschnitten mit etwa gleichem Verkehrsaufkommen zweckmäßig dargestellt werden kann. Da die vorkommenden Lärmquellen keinen konstanten Lautheitswert erzeugen, sondern eine stark veränderliche Lautheits-Zeitfunktion entsteht, muß in diesem Falle mit statistischen Methoden gearbeitet werden. Ein direkter Vergleich der Lautheits-Zeitfunktionen, die bei verschiedenen Fahrbahnbelägen aufgenommen wurden, kann zunächst rein optisch durchgeführt werden; er gibt bereits einen allgemeinen Hinweis über die Lärmentwicklung. Quantitative Angaben sind jedoch nur über statistische Auswertungen sinnvoll, wobei sich eine Dauer von etwa 20 Minuten bereits als ausreichend für eine statistische Aussage erwiesen hat (vgl. Kühne, 1984). In der nachfolgenden Beschreibung der Effekte geht es weniger darum, einen bezüglich der erreichten Lärminderung besonders spektakulären Fahrbahnbelag vorzustellen, sondern darum, die Methoden zu erörtern, die für solch eine Untersuchung zweckmäßig eingesetzt werden.

Lautheits-Zeitfunktionen

Mit Hilfe eines Lautheitsmessers mit großer Dynamik (Zwicker et al., 1985) sind die Lautheits-Zeitfunktionen für zwei Autobahnabschnitte mit verschiedenen Fahrbahnbelägen aufgezeichnet worden. In beiden Fällen ist das Verkehrsaufkommen mit etwa 1000 Fahrzeugen pro Stunde und Fahrtrichtung gleich. In Fig. 1a ist die Lautheits-Zeitfunktion dargestellt, die in einer Entfernung von 25 m von der Fahrbahnmitte in ebenem Gelände bei "normalem" Belag der Fahrbahndecke mit Asphaltbeton gemessen wird. Fig. 1b zeigt dasselbe Ergebnis für einen Fahrbahnbelag, der lärmindernd wirkt. Die beiden Zeitfunktionen weisen sehr starke Fluktuationen auf, je nachdem, ob gerade ein Lastwagen oder ein PKW vorbeifährt, oder ob zwischen solchen Vorbeifahrten gemessen wird. Der Unterschied in den Zeitfunktionen ist nicht sehr augenfällig; er tritt aber dann in Erscheinung, wenn die beiden Zeitfunktionen flach von der Seite her betrachtet werden. Schon die Gipfelpunkte sind in Fig. 1b niedriger als in Fig. 1a. Bei einem Mittelwert, den man mit dem Auge bilden kann, ist es ganz ähnlich. Diese Unterschiede quantitativ herauszuarbeiten ist die Aufgabe, die an die Meßtechnik gestellt wird.

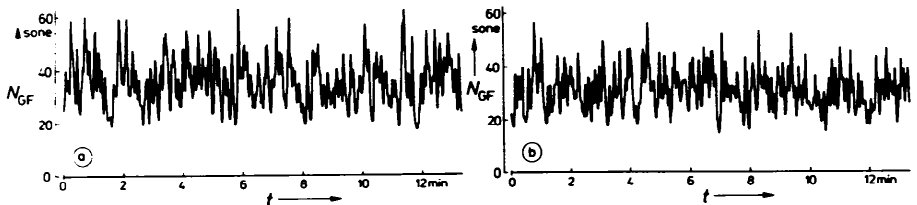


Fig. 1 Lautheits-Zeitfunktion von Autobahnlärm für (a) "normalen" Fahrbahnbelag; (b) lärmärmeren Fahrbahnbelag.

Statistik der Lautheits-Zeitfunktionen

Für eine Dauer von jeweils 20 Minute. wurden die Zeitfunktionen statistisch ausgewertet. Fig. 2 zeigt das Ergebnis für die Aufnahmen der Fahrbahnen mit verschiedenen Belägen. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Meßzeit, in dem ein bestimmter Lautheitswert erreicht oder überschritten wurde, als Funktion dieses Lautheitswertes. Die Punkte, die mit durchgezogenen Linien verbunden sind, gelten für den Fahrbahnbelag gemäß Fig. 1a. Die gestrichelt verbundenen Meßwerte gelten für den lärmärmeren Fahrbahnbelag. Was aus den in Fig. 1 dargestellten Zeitfunktionen nicht direkt quantitativ abgelesen werden konnte, wird nun in Fig. 2 quantitativ erfaßbar.

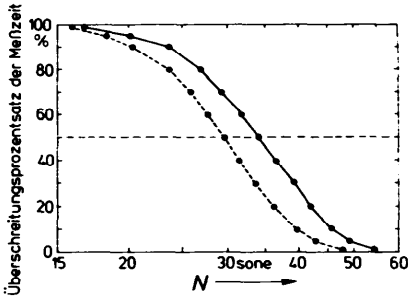


Fig. 2 Perzentillautheiten von Autobahnlärm. Prozentsatz der Meßzeit, in der die Lautheit  $N$  erreicht oder überschritten wird als Funktion von  $N$ . Durchgezogen: "normaler" Fahrbahnbelag; gestrichelt: lärmärmerer Fahrbahnbelag.

Die statistischen Verteilungen der Lautheiten unterscheiden sich tatsächlich sehr eindeutig. Der 50%-Wert liegt für den leiseren Fahrbahnbelag bei 29,7 sone, während er für den normalen Fahrbahnbelag bei 34,0 sone liegt. Ähnliche Unterschiede von etwa 15% in der Lautheit werden auch für den 90%-Wert und für den 10%-Wert gefunden. Die beiden Kurvenzüge gehen bei Benützung einer logarithmischen Abszissentheilung durch Parallelverschiebung sehr gut ineinander über. Diese Darstellung macht deutlich, daß der lärmärmere Fahrbahnbelag tatsächlich eine Lautheitsreduktion bewirkt. Obwohl dieser Effekt im hier gezeigten Beispiel nicht besonders groß ist, wird er in der für Fig. 2 gewählten Darstellung recht praxisnah veranschaulicht. Dies bedeutet, daß das gewählte Verfahren für solche Untersuchungen sehr zweckmäßig ist.

Lautheits-Tonheitsmuster

Die Darstellung der spezifischen Lautheit über der Tonheit ist als Lautheitsmuster in vielen Fällen schon als sehr anschauliche Hilfe bei der Lärmbekämpfung eingesetzt worden (vgl. Zwicker et al., 1984). Es wurde daher der Versuch unternommen, diese Darstellung auch für einen zeitlich stark schwankenden Lärm verfügbar zu machen. Zur Mittelwertbildung wurden zwei verschiedene Verfahren

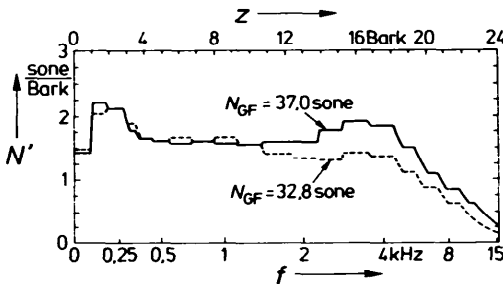


Fig. 3 Lautheits-Tonheitsmuster von Autobahnlärm. Durchgezogen: "normaler" Fahrbahnbelag; gestrichelt: lärmärmerer Fahrbahnbelag.

benützt: Zum einen wurden Terzpegeldiagramme aufgezeichnet, die mit einer Zeitkonstanten von 32 Sekunden gemittelt wurden. Zum zweiten wurden acht solcher Diagramme aufgenommen und die Zentralwerte dieser acht Diagramme zur Berechnung des Lautheits-Tonheitsmusters gemäß Zwicker et al. (1984) benützt. Somit wurden je etwa 4 Minuten der Zeitfunktionen für diese Untersuchungen ausgewertet. Man könnte in der gleichen Form natürlich auch größere Integrationszeiten und mehr Mittelungen benützen, um die gesamten zur Verfügung stehenden Aufnahmezeiten von je 20 Minuten auszuwerten. In Abb. 3 sind die Lautheits-Tonheitsmuster der aus je acht Terzpegelspektren gewonnenen Mittelwerte für die beiden Fahrbahnbeläge aufgetragen. Die punktierten Werte gelten wiederum für den lärmärmeren Fahrbahnbelag, die durchgezogenen Werte für die den üblichen Fahrbahnbelag. In diesem Bild wird der Effekt, den der lärmärmere Fahrbahnbelag bewirkt, besonders deutlich. Während bei tiefen und mittleren Frequenzen sich die beiden Lautheitsmuster nur innerhalb der zu erwartenden statistischen Schwankungen unterscheiden, ist bei höheren Frequenzen oberhalb etwa 1,5 kHz ein deutlicher Unterschied in den Lautheitsanteilen zu verzeichnen. Die lärmindernde Fahrbahndecke sorgt dafür, daß gerade in dem Frequenzbereich, in dem bei der "normalen" Fahrbahndecke sehr hohe Lautheitsanteile entstehen, eine deutliche Absenkung zustande kommt. Da diese Verminderung der Lautheit in einem Gebiet großer Empfindlichkeit des Gehörs auftritt, führt dies auch zu einer entsprechenden Verminderung der Lästigkeit. Daher wird solch ein Fahrbahnbelag wohl auch eine deutlich geringere Lästigkeit des Autobahnlärms erzeugen. Die in Fig. 3 angegebenen Lautheitswerte für die beiden Fahrbahnbeläge liegen ähnlich wie die in Fig. 2 gezeigten Lautheitsdifferenzen von etwa 15%. Zur Absicherung des in Fig. 3 dargestellten Ergebnisses wurden für die Aufnahmen von 20 Minuten Dauer die Zeitfunktionen der Teillautheiten statistisch ausgewertet. Dazu wurden Teillautheiten gewählt, die zu den Frequenzbereichen von 315 Hz, 1 und 4 kHz Mittenfrequenz gehören. Die Ergebnisse sind in Fig. 4 dargestellt. Wiederum ist der Prozentsatz der Meßzeit in dem eine bestimmte Kernlautheit erreicht oder überschritten wird, als Funktion dieser spezifischen Lautheit  $N'$  aufgetragen. Für die Mittenfrequenz von 315 Hz (Fig. 4a) sind beide Verteilungen nahezu identisch.

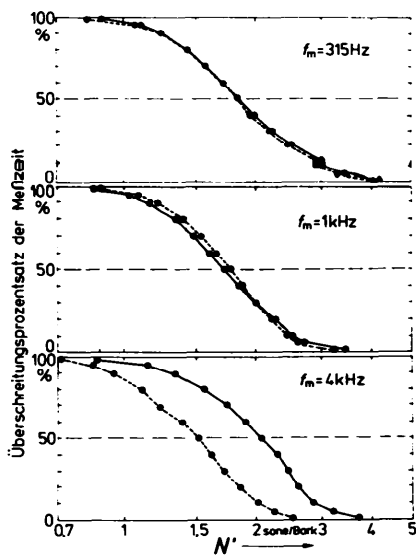


Fig. 4 Perzentilwerte der spezifischen Lautheit von Autobahnlärm. Durchgezogen: "normaler" Fahrbahnbelag; gestrichelt: lärmärmerer Fahrbahnbelag.

Für eine Mittenfrequenz von 1 kHz (Fig. 4b) ergibt sich ein kleiner Unterschied in der Richtung, daß die lärmärmere Fahrbahndecke zum Teil sogar einen etwas größeren Lautheitsanteil erzeugt. Für 4 kHz Mittenfrequenz (Fig. 4c) ist der Unterschied der Verteilungen gravierend. Die 50%-Werte unterscheiden sich hier immerhin um mehr als 40%. Hier spiegelt sich also der Gewinn wider, der schon in Fig. 3 deutlich wurde; er kann in Fig. 4c auch quantitativ abgelesen werden. Es zeigt sich wiederum, daß die statistischen Verteilungen für die beiden Fahrbahnbeläge im wesentlichen durch Parallelverschiebung ineinander übergehen. Lediglich bei sehr kleinen und bei sehr großen Prozentzahlen sind Abweichungen augenscheinlich. Dort spielt einerseits die Zufälligkeit von sehr große Lautheiten erzeugenden Kraftfahrzeugtypen eine Rolle, andererseits sind bei kleinen Lautheiten die Zufälligkeiten der in Pausen vorhandenen Umgebungsgeräusche maßgeblich.

#### Ausblick

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß mit dem Lautheitsmeßverfahren auch geringe Einflüsse von Fahrbahndecken auf den abgegebenen Lärm gehörrichtig und statistisch signifikant gemessen werden können. Der Einsatz von Lautheitsmessern, auch bei der statistischen Auswertung von Lärm, führt insofern zu sehr praxisrelevanten Ergebnissen, als nicht nur für den Gesamtlautheitswert sondern auch für Teillautheiten, die zu einzelnen Frequenzbereichen gehören, statistische Aussagen gemacht werden können. Darüberhinaus kann auch das bei der Lärmminde- rung schon sehr erfolgreich benützte Lautheits-Tonheitsmuster für die Mittelwertbildung ausgenützt und in den Vergleich der von verschiedenen Fahrbahn- decken hervorgerufenen Lautheiten einbezogen werden. Das geschilderte Verfahren ist demnach eine sehr zweckmäßige Methode, um auch bei zeitlich stark veränder- lichen Schallen eindeutig belegbare, quantitative Aussagen über den Erfolg von Lärmbekämpfungsmaßnahmen darzustellen.

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

#### Literatur

- Fastl, H. (1985) Loudness and annoyance of sounds: Subjective evaluation and data from ISO 532 B. In: Proc. inter-noise '85, II, 1403-1406.
- Kühne, R. (1984) Akustische Langzeitmessungen an einer Autobahn. In: Umwelt- schutz in der Straßen- und Verkehrsplanung, Institut für Straßenbau und Ver- kehrsplanung, Universität Innsbruck, Heft 17, 9-32.
- Ronneberger, D. (1985) Reifenrollgeräusche. In: Fortschritte der Akustik, DAGA '85, DPG-Verlag Bad Honnef, 75-86.
- von Meier, A. (1985) A poro-elastic road surface for traffic noise reduction. In: Proc. Internoise '85, I, 287-290.
- Weber, R. und Mellert, V. (1978) Vergleichende Beurteilung von Verkehrsgeräu- schen - Korrelation mit Lautstärkeparametern. DAGA'78, 271-274.
- Zwicker, E., Deuter, K. and Peisl, W. (1985) Loudness meters based on ISO 532 B with large dynamic range. In: Proc. inter-noise '85, II, 1119-1122.
- Zwicker, E., Fastl, H. and Dallmayr, C. (1984) BASIC-Program for calculating the loudness of sounds from their 1/3-oct. band spectra according to ISO 532 B. Acustica 55, 63-67.