

KONTROLLE VON LÄRMMINDERUNGSMASSNAHMEN MIT DEM LAUTHEITSMESSER

E. Zwicker und H. Fastl

Lehrstuhl für Elektroakustik, Technische Universität München

1. EINFÜHRUNG

Die Beschreibung des Lärms durch den A-bewerteten Schallpegel wird nicht nur national, sondern auch international mehr und mehr als unbefriedigend angesehen [1]. Ganz besonders enttäuscht sind diejenigen Auftraggeber, die mit großem Aufwand eine Lärminderungsmaßnahme durchführen lassen und gehörmäßig eine sehr deutliche Reduktion der Lautstärkeempfindung feststellen, jedoch beim Zahlenwert des A-bewerteten Schallpegels eine Reduktion nur um einige Prozent registrieren. Hier zeigt sich besonders deutlich, daß im A-bewerteten Schallpegel ein falsches Maß für die Lärmbekämpfung benützt wird. Der Konstrukteur, der ein geräuscharmes Produkt entwickelt hat, wird zwar bei seinem fachkundigen Vorgesetzten noch Verständnis dafür finden, daß es eine große Tat war, den abgegebenen Lärm von 80 dB(A) auf 70 dB(A) zu reduzieren, der Kaufmann und der Jurist in der Firmenleitung aber haben schon kein so gutes Verhältnis zu diesen Zahlen und sehen eine Reduktion um nur 12% als ungeeignet für einen Werbespot an. Bei der Landesplanung und bei der Reduktion des Verkehrslärms gelten ganz entsprechende Gesichtspunkte. In der größten Not behelfen sich diejenigen, die für Öffentlichkeitsarbeit oder Effektivitätskontrolle verantwortlich sind, mit dem Hinweis, daß die Reduktion um 10 dB(A) etwa der Halbierung der Empfindung der Lautstärke entspräche und daher der Effekt viel größer sei, als aus der Reduktion von 12% zu erwarten wäre. Wenn also der Erfolg der Lärmbekämpfung "an den Mann gebracht" werden soll, wird eine Empfindungsskala verwendet. Damit aber stellt sich sehr deutlich die Frage, warum denn nicht gleich mit der Skala der Lautheit gearbeitet wird, bei der falsche Interpretationen gar nicht vorkommen können, weil die Maßzahlen der Lautheit der Empfindung direkt proportional sind (vgl. [2], [3], [4]).

Zur Bestimmung der Lautheit sind einfach handhabbare Meßgeräte notwendig. Wir haben daher einen kleinen, tragbaren Lautheitsmesser konstruiert [5], der die Lautheit sowohl für stationäre als auch für stark zeitlich variable Schalle mit großer Genauigkeit mißt. Die Anwendung dieses Lautheitsmessers bei der Erfolgskontrolle von Lärminderungsmaßnahmen - auch im Hinblick auf Kosten/Nutzen-Analysen - soll an zwei Beispielen diskutiert werden.

2. BEISPIELE

Ein Leichtkraftrad mit 50 cm^3 Hubraum und einer maximalen Drehzahl von 8800 Umdrehungen pro Minute erzeugt eine Leistung von 5 kW. Wird solch ein Leichtkraftrad der Norm [6] entsprechend unter beschleunigter Vorbeifahrt gemessen, so er-

gibt sich ein maximaler A-bewerteter Schallpegel von 80 dB(A). Leichtkrafträder dieses Typs werden als sehr laut empfunden; sie gehören zu denjenigen Quellen, die im Straßenverkehr den größten Lärm verursachen. Durch Vergrößerung des Hubraums auf 100 cm^3 bei gleichzeitiger Reduktion der maximalen Drehzahl auf 5200 Umdrehungen pro Minute jedoch beibehaltener abgegebener Leistung hat sich der Konstrukteur bemüht, den vom Leichtkraftrad abgegebenen Störschall deutlich zu reduzieren. Bei beschleunigter Vorbeifahrt werden jetzt 74 dB(A) gemessen. Mit dem, was er hören konnte, war der Konstrukteur zwar recht zufrieden, von dem in Zahlenwerten ausgedrückten Ergebnis jedoch enttäuscht, weil die Reduktion des A-bewerteten Schallpegels um 8% alles andere als spektakulär ist.

In Wirklichkeit muß der Erfolg der Lärminderungsmaßnahme jedoch als sehr beachtlich angesehen werden. In Fig. 1a sind oben die Vorbeifahrt des ursprünglichen Leichtkraftrads und unten die Vorbeifahrt des lärmgeminderten Leichtkraftrads dargestellt, wie sie vom Lautheitsmesser registriert wurden. Aufgetragen ist die gemessene Lautheit als Funktion der Zeit. Während das ursprüngliche Kraftrad bei der beschleunigten Vorbeifahrt eine maximale Lautheit von 50 sone(GF) erzeugt, erreicht das lärmgeminderte Kraftrad bei beschleunigter Vorbeifahrt eine maximale Lautheit von nur 26 sone(GF). Dem Konstrukteur ist es demnach gelungen, die Lautheit fast um den Faktor 2 zu reduzieren. Dieses Verhältnis entspricht dem Höreindruck recht genau. Die Reduzierung des Lärms auf die Hälfte ist eine Aussage, die den wirklichen Verhältnissen viel näher kommt, als die Reduktion des A-bewerteten Schallpegels um 8%.

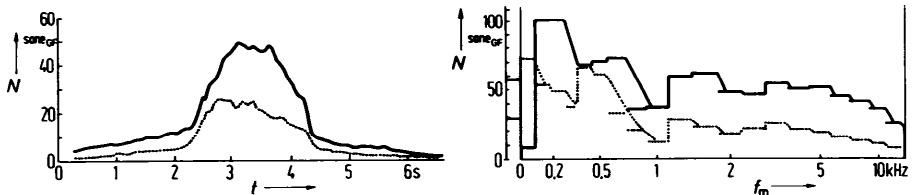


Fig. 1: (a) Lautheits-Zeitfunktionen von normalem (durchgezogen) und lärmarm konstruiertem (punktiert) Leichtkraftrad gleicher Leistung bei beschleunigter Vorbeifahrt. (b) Zugehörige, aus den maximalen Terzpegeln gewonnene Lautheitsdiagramme.

In Fig. 1b sind Lautheitsverteilungen der Leichtkrafträder angegeben, wie sie sich mit dem Schablonenverfahren nach ISO 532 [7] bzw. DIN 45631 [8] ergeben. Die berechneten Werte von 53 sone(GF) bzw. 29 sone(GF) sind etwas größer, weil die während der Vorbeifahrt gemessenen maximalen Terzpegel im Diagramm eingetragen wurden. Da jedoch die maximalen Terzpegel nicht zum gleichen Zeitpunkt auftreten, wird vom Berechnungsverfahren ein etwas größerer Wert angegeben. Die richtigen Werte werden vom Lautheitsmesser angezeigt, weil die ver-

schiedenen Spektralanteile in Echtzeit analysiert und weiterverarbeitet werden. Somit mißt der Lautheitsmesser die tatsächlich als Funktion der Zeit auftretende Lautheit.

Die Umrechnung der vom Lautheitsmesser angegebenen Lautheitswerte in die entsprechenden Lautstärkepegel ergibt für das normale Leichtkraftrad 96 phon(GF) und für das lärmgedimmte Kraftrad 87 phon(GF). Daß der A-bewertete Schallpegel nur um 6 dB(A) abgenommen hat, während der Lautstärkepegel um 9 phon verringert wurde, läßt sich folgendermaßen erklären: Dem Konstrukteur ist es gelungen, die sehr breitbandige spektrale Verteilung des vom ursprünglichen Leichtkraftrad erzeugten Störschalles im mittleren und höheren Frequenzbereich erheblich zu reduzieren, während der tieffrequente Anteil eine geringere Reduktion erfuhr. Man könnte auch umgekehrt argumentieren (vgl. [9]): Das Schallspektrum des ursprünglichen Leichtkraftrades nähert sich sehr gut an die Frequenzkurve der A-Bewertung an, d.h. bei festgelegtem A-bewertetem Schallpegel wird die größte Lautheit erzeugt!

Das zweite Beispiel betrifft das Ausmaß der Reduktion von Verkehrslärm durch entsprechende Fensterkonstruktionen für Wohnräume. Ein vorbeifahrender Lastkraftwagen erzeugt vor dem Fenster eine maximale Lautheit von 56 sone(GF). In die Wohnräume wird der Verkehrslärm fast ausschließlich durch die Fenster übertragen. Die verschiedenen Fensterkonstruktionen unterscheiden sich in ihrer lärmreduzierenden Wirkung erheblich. Meistens wird das mittlere Luftschalldämmmaß R_w angegeben, wobei Werte zwischen 20 dB und 40 dB üblich sind. Dem Nichtfachmann sagen diese Angaben nicht viel. Für ihn ist wichtiger, welche Reduktion der Lautstärkeempfindung die Fenster bewirken bzw. wie sich verschiedene Fenster im Hinblick auf diese Wirkung unterscheiden. Darüber gibt die Lautheit Aufschluß, die vom Lautheitsmesser bei Anwendung verschiedener Fenstertypen im Wohnraum registriert wird, wenn außen der LKW vorbeifährt. In Fig. 2a sind die entsprechenden Lautheits-Zeitfunktionen aufgetragen:

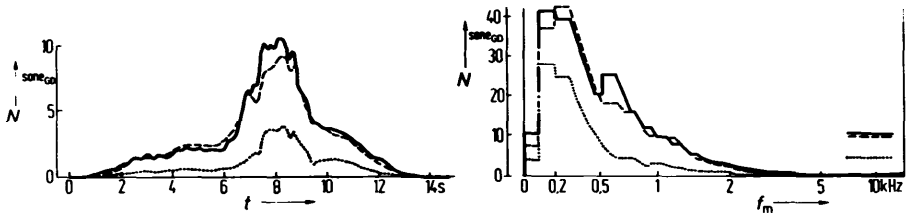


Fig. 2: (a) Lautheits-Zeitfunktionen im mit verschiedenen Fensterkonstruktionen vom Straßenlärm abgeschirmten Wohnraum bei Vorbeifahrt eines LKW (durchgezogen: Einfachfenster; gestrichelt: schalltechnisch ungünstiges Doppelfenster; punktiert: zweckmäßiges Doppelfenster, sog. "Schallschutzfenster"). (b) Zugehörige Lautheitsdiagramme.

Verglichen wird ein Einfachfenster aus 3 mm Glas, ein Doppelfenster mit geringem Glasabstand und ausgeprägter Resonanz, sowie ein Doppelfenster mit großem Glasabstand und guten Dämmeigenschaften. Während das Einfachfenster und das schalltechnisch unzweckmäßig konstruierte Doppelfenster die maximale Lautheit des LKW nur auf je etwa 10 sone(GD) reduzieren, wird durch das gut dämmende Doppelfenster ("Schallschutzfenster") die maximale Lautheit auf etwa 4 sone(GD) abgesenkt, d.h. auf weniger als den zehnten Teil der Lautheit, die auf der Straße vor dem Fenster herrscht. Im Vergleich zu den beiden anderen Fenstern ist die Wirkung des "Schallschutzfensters" um etwa den Faktor 2,5 besser: Um diesen Faktor reduziert dieses Fenster die Lautheit mehr als die beiden anderen. In Fig. 2b sind wie in Fig. 1b die Lautheitsverteilungen aufgetragen, die sich aus den bei der Vorbeifahrt gemessenen maximalen Terzpegeln ergeben. Sie verdeutlichen neben der Lautheitsreduktion (entsprechend der Verringerung der Fläche unter den Kurven) auch die Verschiebung des Spektrums nach tieferen Frequenzen.

3. DISKUSSION

Mit diesen Beispielen soll deutlich gemacht werden, wie die Anwendung einer zweckmäßigen Maßzahl entscheidend in die Darstellung des Ergebnisses einer Lärm-minderungsmaßnahme eingeht. Es muß als untragbar bezeichnet werden, wenn einerseits von den für die Lärm-minderung Verantwortlichen - sei es der Konstrukteur einer Maschine oder sei es die Öffentliche Hand bei der Landesplanung - intensive Lärm-minderung verlangt wird, andererseits aber den Verantwortlichen eine Maßzahl an die Hand gegeben wird, mit der sie ihre Erfolge nicht nur sehr schlecht darstellen können, sondern die geradezu als ein Bremsklotz für sinnvolle Lärm-minderung angesehen werden muß: Gute Leistungen werden völlig unzureichend gewürdigt, schlechte Leistungen dagegen nicht als solche entlarvt.

LITERATUR

[1] Myncke, H., Traffic noise measurements: a survey of the problems. In: Proc. Internoise, 81. [2] Zwicker, E., Ein Beitrag zur Unterscheidung von Lautstärke und Lästigkeit. *Acustica* 17, 22-25 (1966). [3] Weber, R. und Mellert, V., Vergleichende Beurteilung von Verkehrsgereuschen. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 78, VDE-Verlag, Berlin. [4] Fastl, H., Methodenvergleich zur Lautheitsbeurteilung. In: *Akustik zwischen Physik und Psychologie*. (A.Schick, Ed.) Klett-Cotta, Stuttgart, 103-109 (1981). [5] Zwicker, E. and Daxer, W., A portable loudness meter based on psychoacoustical models. In: Proc. Internoise 81. [6] DIN 45636 Außengeräuschemessungen an Kraftfahrzeugen. [7] ISO 532 Method for calculating loudness level. [8] DIN 45631 Berechnung des Lautstärkepegels aus dem Geräuschspektrum. [9] Zwicker, E., Weniger L_A = Größere Lautstärke? In: Fortschritte der Akustik, DAGA' 80, VDE-Verlag, Berlin, 159-162 (1980).

Die Autoren danken dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz für die Überlassung von Verkehrsgereuschaufnahmen. Das lärmarme Leichtkraftrad wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes entwickelt. Die Schalldämmwerte des Schallschutzfensters wurden vom Planungsbüro Obermeyer zur Verfügung gestellt. Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (im Rahmen des SFB 50, Kybernetik) gefördert.