

Zur Lautheit und Lästigkeit von Breitbandrauschen mit einer tonalen Komponente U. Widmann*

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

Einleitung

In vielen Geräuschbewertungsverfahren ist eine Tonkorrektur vorgesehen, die einen Zuschlag zum erzielten Meßwert vorsieht, wenn ausgeprägte tonale Komponenten im Schallsignal vorhanden sind. Die Höhe und Notwendigkeit eines Tonzuschlages bei der Verwendung gehörlicher Lärmbewertungsverfahren gibt jedoch häufig Anlaß zu Diskussionen /1//2/. Zwicker hat einen unter bestimmten Rahmenbedingungen geltenden Vorschlag zur Berechnung der Lästigkeit erarbeitet, bei dem die quellenbezogenen Einflußgrößen der Lästigkeit auf der Basis von Hörempfindungen nachgebildet werden. In diesem psychoakustischen Ansatz werden Einflußgrößen, die von Eigenschaften der vom Lärm betroffenen Person abhängen ausgeklammert /1/.

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, ob bei der Beschreibung einer nach Zwickers Definition verstandenen Psychoakustischen Lästigkeit tonale Schalle gesondert zu behandeln sind und ob tonale Komponenten zur Psychoakustischen Lästigkeit mehr beitragen als zur Lautheit.

Messungen

Zur Klärung dieser Fragen wurden Hörversuche unternommen. Die Durchführung wurde an Experimente von Fastl und Yamada /2/ angelehnt, die die Lästigkeit von Rosa Rauschen mit einer Tonkomponente bei 1000 Hz untersucht hatten. Diese Untersuchung wurde wiederholt und zusätzlich mit tonalen Komponenten bei 250 Hz und 3 kHz durchgeführt. Als Meßmethode wurde die Größenschätzung mit Ankerschall verwendet. Als Anker diente jeweils Rosa Rauschen mit einem Pegel von 60 dB, das die jeweilige Tonkomponente mit einem Pegel von 40 dB enthielt. Der Pegel des Rauschens wurde im Experiment konstant gehalten, der Pegel des Sinustons (L_T) jedoch zwischen 40 dB und 80 dB in Stufen von 5 dB verändert.

Die Testschalle wurden zehn normalhörenden Versuchspersonen im Alter zwischen 25 und 45 Jahren in einer schallisolierten Kabine über einen freifeldentzerrten Kopfhörer /3/ diotisch dargeboten. Um Schaltknacke zu vermeiden, wurden die Schalle über einen Gaussmodulator mit 50 ms Anstieg- und Abfallzeit geschaltet; die Testschalldauer betrug 3 s.

Zu Beginn jeder Sitzung wurden die Versuchsteilnehmer in einer schriftlichen Anleitung über die Versuchsdurchführung informiert. Um die Versuchssituation an die Verhältnisse im Alltag anzulehnen, wurden die Versuchspersonen bei der Beurteilung der Psychoakustischen Lästigkeit angewiesen, sich vorzustellen, sie säßen in einem Wohnzimmer und möchten etwas lesen, während verschiedene Schalle auf sie einwirkten. Bei den Lautheitsuntersuchungen wurde keine Rahmenbedingung vorgegeben. Die Reihenfolge der Abfrage nach Lautheit und Psychoakustischer Lästigkeit wurde für die einzelnen Versuchspersonen permutiert, um Reihenfolgeeffekte zu mindern. In einer Sitzung wurden die Schalle jeweils viermal dargeboten. Die vier Bewertungen eines Schalles wurden im weiteren hinsichtlich Zentralwert und Wahrscheinlicher Schwankung ausgewertet, und auf die Beurteilung des Ankerschalles normiert.

Zur Bestimmung der Lautheit wurden die Schalle mit einem Echtzeitlautheitsmeßsystem nach Zwicker et al. /4/ mit anschließendem Statistikprozessor analysiert.

*Jetzt: Müller-BBM GmbH, Schalltechnische Beratungen, Planegg

Ergebnisse

In Abb. 1 sind Beispiele für die mit dem Lautheitsberechnungsprogramm nach DIN 45631 /5/ ermittelten Spezifischen Lautheits-Tonheitsmuster des verwendeten Rosa Rauschens mit einer Tonkomponente bei 250 Hz (1a), 1 kHz (1b), und 3 kHz (1c) dargestellt.

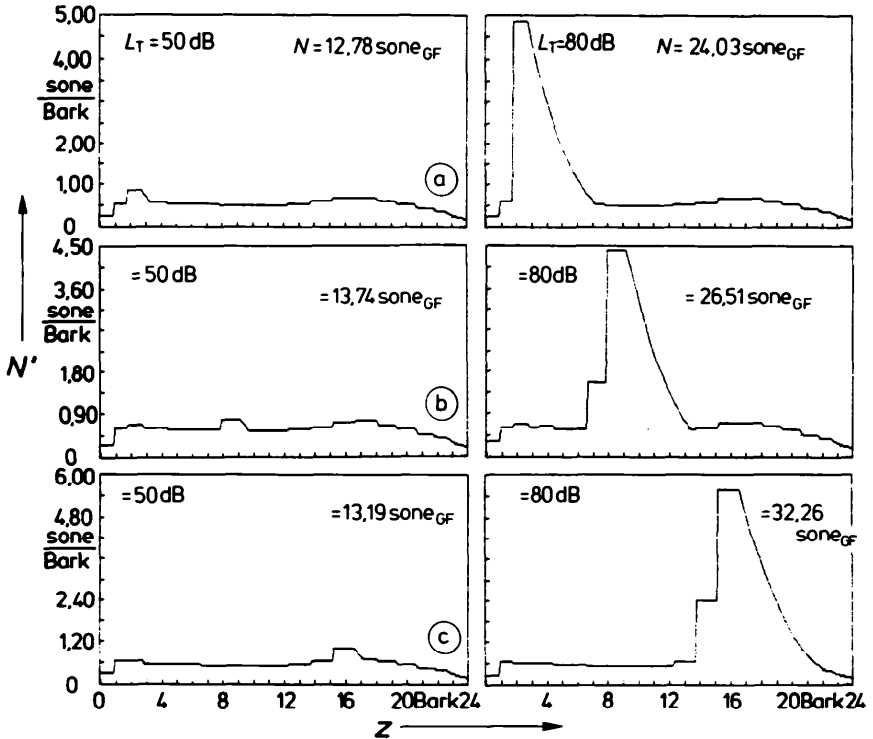


Abb. 1: Spezifische Lautheits-Tonheitsmuster von Ton-Geräusch-Komplexen. Rosa Rauschen (60 dB) und Testton bei (a) 250 Hz, (b) 1 kHz und (c) 3 kHz mit Tonpegeln (L_T) von 50 dB (linke Teilbilder) und 80 dB (rechte Teilbilder).

Während das Rauschen eine breite Verteilung der Spezifischen Lautheit hervorruft, ragt der Ton mit steigendem Pegel immer mehr aus dem Rauschen und übernimmt einen zunehmenden Anteil an der Gesamtlautheit. Der Schwerpunkt des Spezifischen Lautheits-Tonheitsmusters verschiebt sich damit nach tieferen Tonheiten (Teilbild a) und die Gesamtlautheit des Schalles steigt um etwa den Faktor zwei. Teilbild (b) zeigt, daß der Ton bei niedrigen Pegeln Spezifische Lautheiten im Tonheitsbereich um 9 Bark bewirkt, während sich bei hohen Pegeln der Einfluß wegen der Auf-fächerung der oberen Flanke auf Tonheiten bis 12 Bark ausdehnt. Der Beitrag des Tones zur Gesamtlautheit kann aus den Teilflächen im Spezifischen Lautheits-Tonheitsmuster abgeschätzt wer-

den. Bei einem Pegel von 50 dB hat der Ton einen Anteil von etwa 2%, während er bei 80 dB bereits die Hälfte der Gesamtlautheit ausmacht. Teilbild (c) zeigt, daß sich durch Erhöhung des Tonpegels die Verteilung der Spezifischen Lautheit zu höheren Tonheiten verschiebt. Wegen der großen Empfindlichkeit des Gehörs in diesem Frequenzbereich werden größere Lautheiten errechnet als für 250 Hz und 1 kHz. Während das Rauschen allein etwa eine Lautheit von ungefähr 12.5 sone besitzt, erreicht der komplexe Schall aus Rauschen und Ton mit einem Pegel von 80 dB eine Lautheit von 32 sone. Sie erhöht sich also etwa um den Faktor 2.6.

In Abb. 2 ist für die untersuchten Testtonfrequenzen die subjektive Beurteilung der relativen Lautheit und der relativen Psychoakustischen Lästigkeit bezogen auf den Ankerschall gezeigt. An der Abszisse ist der Pegel des Testtones angetragen.

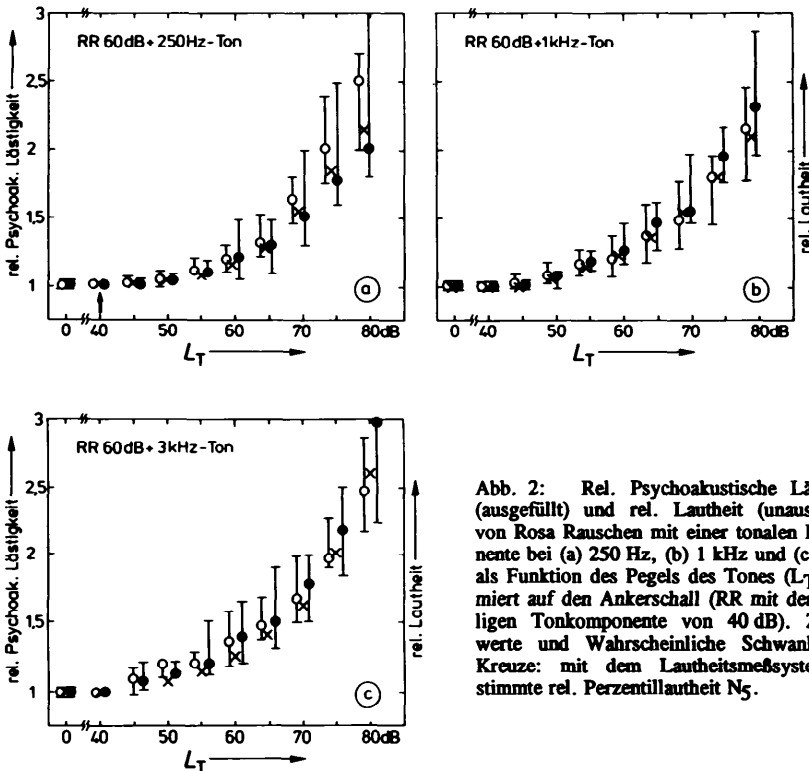


Abb. 2: Rel. Psychoakustische Lästigkeit (ausgefüllt) und rel. Loutheit (unausgefüllt) von Rosa Rauschen mit einer tonalen Komponente bei (a) 250 Hz, (b) 1 kHz und (c) 3 kHz als Funktion des Pegels des Tones (L_T), normiert auf den Ankerschall (RR mit der jeweiligen Tonkomponente von 40 dB). Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen. Kreuze: mit dem Lautheitsmeßsystem bestimmte rel. Perzentillautheit N₅.

Teilbild (a) zeigt mit steigendem Pegel des Tones bei 250 Hz sowohl eine Erhöhung der Lautheits- als auch Lästigkeitsbeurteilungen. Bei großen Testtonpegeln liegen die Zentralwerte der Psychoakustischen Lästigkeit etwas unterhalb der Loutheit, wobei sich aber die Wahrscheinlichen Schwankungen überlappen. Bei einem Pegel der Tonkomponente von 80 dB liegt die Lästigkeit

stigkeitsbewertung etwa doppelt so hoch wie beim Ankerschall. Teilbild (b) zeigt die Urteile für eine Frequenz der Tonkomponente von 1 kHz. Ab einem Pegel der Tonkomponente von 45 dB steigt die Beurteilung beider Größen an. Bei großen Testtonpegeln liegen die Zentralwerte der Psychoakustischen Lästigkeit etwa 7% über denen der Lautheit. Die relativen Lautheits- und Lästigkeitsschätzungen in Teilbild (c) erhöhen sich für die Tonkomponente bei 3 kHz rascher als bei den niedrigeren Frequenzen. Bei einem Tonpegel von 80 dB wird gegenüber dem Ankerschall eine dreimal höhere Psychoakustische Lästigkeit hervorgerufen. Die Beurteilung des Rauschens ohne Tonkomponente unterscheidet sich für keine der drei Tonfrequenzen von der Bewertung der Breitbandrauschen mit einer Tonkomponente von 40 dB Pegel.

Der Verlauf der relativen Psychoakustischen Lästigkeit wird sehr gut durch die mit dem Lautheitsmeßsystem ermittelten Daten der rel. Perzentillautheit N_5 nachgebildet. Die auf die Lautheit des Ankerschalles normierten Werte wurden zum Vergleich ebenfalls in Abb. 2 eingetragen (Kreuze). Die mittlere Abweichung von psychoakustisch und physikalisch gemessenen Werten beträgt im Mittel nur 3.9%.

Zusammenfassung

Bei Breitbandrauschen mit tonaler Komponente erhöht sich die Psychoakustische Lästigkeit mit zunehmendem Pegel der Tonkomponente. In gleichem Maße erhöht sich aber auch die Lautheit der Schalle. Die Steilheit des Anstiegs der Psychoakustischen Lästigkeit nimmt mit der Frequenz der Tonkomponente zu. Geringe Unterschiede zwischen dem Verlauf der relativen Psychoakustischen Lästigkeit und der relativen Lautheit treten nur bei großen Pegeln und einer Tonfrequenz von 3 kHz auf. Dies ist vermutlich auf die wahrnehmbare Änderung der Klangfarbe zurückzuführen, die sich in der Verschiebung der Schwerpunkte im Spezifischen Lautheits-Tonheitsmuster bei Änderung der Tonpegel zeigt.

Der Autor dankt Prof. Dr.-Ing. H. Fastl für wertvolle Anregungen. Diese Arbeit wurde im Rahmen des SFB 204 "Gehör", München, gefördert.

Literatur

- 1/ Zwicker, E. Ein Vorschlag zur Definition und zur Berechnung der unbeeinflussten Lästigkeit. *Z.f.Lärbek.* 38, 91-97.
- 2/ Fastl H., Yamada Y., Crosscultural study on loudness and annoyance of broadband noise with a tonal component. In: *Contributions to Psychological Acoustics* (Schick, A. et al., eds.), Kohlrenken, Oldenburg, 341-353.
- 3/ Zwicker E., Fastl H., *Psychoacoustics - facts and models*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1990.
- 4/ Zwicker, E., Deuter, K. und Peisl, W. (1985) Loudness meters based on ISO 532 B with large dynamic range. In: *Proc. internoise '85*, Vol. II, 1119-1122.
- 5/ DIN 45631, Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum. Verfahren nach E. Zwicker. Beuth Verlag, Berlin.