

Zur Lästigkeit von amplitudenmodulierten Breitbandrauschen

U. Widmann, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München
jetzt: Müller-BBM GmbH, Schalltechnisches Beratungsbüro, Planegg

Einleitung

Zur Berechnung der Lästigkeit von Schallen hat Zwicker einen unter bestimmten Rahmenbedingungen geltenden Vorschlag erarbeitet, bei dem quellenbezogene Einflußgrößen der Lästigkeit auf der Basis von Hörempfindungen nachgebildet werden /1/. In diesem Ansatz wird insbesondere der Beitrag der Hörempfindung Schwankungsstärke bei der Bildung der Lästigkeit hervorgehoben.

Zeitlich strukturierte Schalle können neben der Schwankungsstärke auch die Hörempfindung Rauigkeit hervorrufen.

In der vorliegenden Arbeit wird deshalb der Frage nachgegangen, in wieweit diese Hörempfindungen bei der Bildung der Psychoakustischen Lästigkeit berücksichtigt werden müssen.

Versuchsdurchführung

Zur Klärung dieser Frage wurden Hörversuche mit sinusförmig amplitudenmodulierten Gleichmäßig Verdeckendem Rauschen unternommen. Die Durchführung wurde an Experimente von Fastl angelehnt, der die Schwankungsstärke und die Rauigkeit dieser Schalle umfangreich systematisch untersucht hat /2,3/.

Als Meßmethode wurde die Größenschätzung ohne Ankerschall verwendet. Die Schalle wurden zehn normalhörenden Versuchspersonen im Alter zwischen 25 und 45 Jahren in einer schallisolierten Kabine über freifeldentzerrte Kopfhörer diotisch dargeboten. Um Schaltknacke zu vermeiden, wurden die Signale über einen Gaussmodulator mit 50 ms Anstiegs- und Abfallzeit geschaltet. Durch Verwendung eines Multiplizierers wurde ein Übersprechen der Modulationsfrequenz bei der Modulation verhindert.

Zu Beginn einer jeden Sitzung wurden die Versuchsteilnehmer in einer schriftlichen Anleitung über die Versuchsdurchführung informiert. Um die Versuchssituation an die Verhältnisse im Alltag anzulehnen, wurden die Versuchspersonen angewiesen sich vorzustellen, sie säßen in einem Wohnzimmer und möchten ein Buch lesen, während verschiedene Schalle auf sie einwirkten. In einer Sitzung wurde jeder Testschall viermal dargeboten. Die vier Bewertungen eines Schalles wurden anschließend hinsichtlich Zentralwert und Wahrscheinlicher Schwankung ausgewertet.

Zur meßtechnischen Bestimmung der Lautheit wurde ein Lautheitsmeßsystem mit Statistikanalysator verwendet /4/.

Ergebnisse

In einer ersten Versuchsreihe wurde die Modulationsfrequenz (f_{mod}) in einem weiten Bereich zwischen 0.25 Hz und 2048 Hz variiert. Wegen des großen Bereiches der untersuchten Modulationsfrequenzen und einer lang gewählten Darbietungszeit der einzelnen Schalle von 20 sec. wurde diese Versuchsreihe in drei Abschnitte unterteilt, wobei in jedem Teil jeweils ein unmoduliertes Rauschen als Testschall enthalten war, auf dessen Psychoakustische Lästigkeit die erzielten Einzelergebnisse normiert werden konnten.

Es wurde ein Modulationsgrad von 98% und ein Maximalpegel des langsam modulierten Breitbandrauschens von 60 dB eingestellt. Der Darbietungspegel entsprach beim unmodulierten Schall einer Lautheit N_5 von etwa 7 sone.

Die relative Psychoakustische Lästigkeit ist in Abb. 1 über dem untersuchten Bereich der Modulationsfrequenz (f_{mod}), normiert auf die Psychoakustische Lästigkeit des unmodulierten Breitbandrauschens (GVR, u), aufgetragen. Die Ergebnisse zeigen, daß die relative Psychoakustische Lästigkeit zunächst mit Erhöhung der Modulationsfrequenz ansteigt. Bei einer Modulationsfrequenz von 4 Hz ergibt sich ein lokales Maximum. Die Psychoakustische Lästigkeit liegt hier etwa um den Faktor 2.4 über der des unmodulierten Rauschens. Bei weiterer Erhöhung der Modulationsfrequenz sinkt die Psychoakustische Lästigkeit im Mittel geringfügig bis zu einem Minimum bei etwa 32 Hz ab. Dieses Minimum ist signifikant, da es sich in allen individuellen Urteilen zeigt. Ein zweites Maximum der Beurteilung der Psychoakustischen Lästigkeit findet sich bei

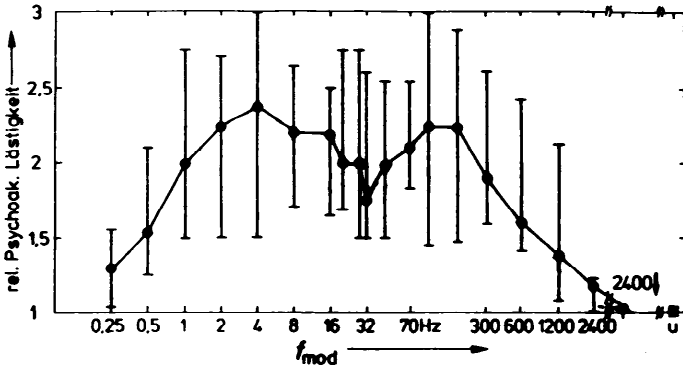


Abb. 1: Rel. Psychoakustische Lästigkeit als Funktion der Modulationsfrequenz (f_{mod}) bei sinusförmig moduliertem Breitbandrauschen; u: unmoduliertes Rauschen; 2400 Hz \downarrow : lauthheitsreduzierte Darbietung des mit 2.4 kHz modulierten Schalles.

Modulationsfrequenzen von etwa 110 Hz bis 180 Hz. Bei noch höheren Modulationsfrequenzen sinkt die Psychoakustische Lästigkeit dann deutlich ab. Insgesamt treten sehr große interindividuelle Unterschiede auf, während die intraindividuellen Abweichungen (< 15%) wesentlich geringer ausfallen.

Durch sinusförmige Modulation erhöht sich der mittlere Effektivwertpegel gegenüber dem unmodulierten Rauschen. Diese Pegelerhöhung und die Integrationszeit der Lautheit wirken sich abhängig von der Modulationsfrequenz auf die gemessene Lautheit der Testschalle aus. Bei langsamen Schallschwankungen kann die Lautheit der zeitlichen Änderung der Schalle folgen, während sie bei hohen Modulationsfrequenzen ab etwa 25 Hz stationäre Werte annimmt, die etwa 13% über der Lautheit des unmodulierten Schalles liegen. Die bei niedrigen Modulationsfrequenzen, also im Existenzbereich der Hörempfindung Schwingungsstärke, erreichten Perzentilwerte der

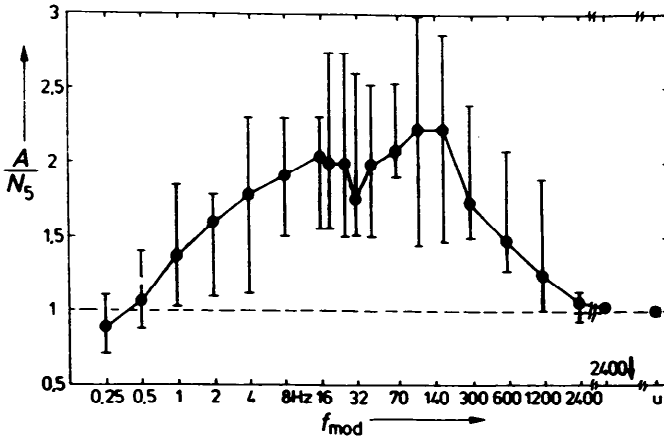


Abb. 2: Quotient der rel. Psychoakustischen Lästigkeit (A) und der rel. Perzentillautheit N_5 als Funktion der Modulationsfrequenz (f_{mod}) bei sinusförmig moduliertem Breitbandrauschen; u: unmoduliertes Rauschen; 2400 Hz \downarrow : lauthheitsreduzierte Darbietung des mit 2.4 kHz modulierten Schalles.

Lautheit (N_5) liegen um den Faktor 1.5 höher als beim unmodulierten Schall. Diese Änderung der wahrgenommenen Lautstärke muß bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden. Das mit 2.4 kHz modulierte Rauschen wurde ebenfalls mit reduzierter Lautstärke dargeboten, um zu überprüfen, ob bei gleicher Lautheit aufgrund der zeitlichen Strukturierung die Beurteilung der Psychoakustischen Lästigkeit dieses Schalles höher ausfällt als die des unmodulierten Rauschens. Mit dem Lautheitsmeßsystem wurde die gemessene Perzentillautheit N_5 des modulierten Rauschens der des unmodulierten Rauschens angeglichen. Der äußerst geringe Unterschied der relativen Psychoakustischen Lästigkeit beider Schalle in Abb. 1 zeigt, daß die zeitliche Strukturierung bei hohen Modulationsfrequenzen die Psychoakustische Lästigkeit nicht mehr erhöht.

In Abb. 2 ist der Quotient der relativen Psychoakustischen Lästigkeit und der mit dem Lautheitsmeßsystem ermittelten Perzentillautheit N_5 der untersuchten Schalle über der Modulationsfrequenz aufgetragen. In dieser Darstellung wird der von der Lautheit der Schalle abweichende, durch die zeitliche Strukturierung hervorgerufene Beitrag zur Psychoakustischen Lästigkeit deutlich sichtbar. Ein Wert des Quotienten größer 1 bedeutet eine Erhöhung der Psychoakustischen Lästigkeit durch die Modulation. Werte des Verhältnisses kleiner als 1 bedeuten, daß der Schall weniger lästig beurteilt wurde, als aus der Lautheit zu erwarten wäre.

Die Ergebnisse der Experimente zeigen, daß die wahrnehmbare Zeitstruktur bei Modulationsfrequenzen über 70 Hz noch einen ansteigenden Beitrag zur Psychoakustischen Lästigkeit leistet und nicht proportional zur Rauigkeit abnimmt.

Diese Beurteilung ist zunächst verwunderlich, da die Beurteilung der relativen Psychoakustischen Lästigkeit in anderen Bereichen der Modulationsfrequenz sehr genau durch die Abhängigkeit der Schwankungsstärke und der Rauigkeit beschrieben werden kann. Dies ist vermutlich auf das Auftreten einer Tonhöhe zurückzuführen.

Der Beitrag von Schwankungsstärke und Rauigkeit wurde bislang nur bei einer mittleren Lautheit diskutiert. Da eine Abhängigkeit von Schwankungsstärke und Rauigkeit vom Schallpegel bekannt ist, sollte dieser Einfluß auf die Psychoakustische Lästigkeit in einer weiteren Versuchsreihe untersucht werden. Aus den bisher verwendeten Schallen wurde das unmodulierte Rauschen, ein mit 1 Hz und ein mit 32 Hz modulierte Breitbandrauschen ausgewählt. Modulierte und unmodulierte Schalle wurden auf eine jeweils gleiche Perzentillautheit N_5 von 1.7 sone, 4.5 sone, 11 sone, 23 sone und 50 sone eingestellt.

Abb. 3 erlaubt einen Überblick über die Beurteilung der relativen Psychoakustischen Lästigkeit der Testschalle. Diese ist in einem doppellogarithmischen Diagramm über der Perzentillautheit N_5 dargestellt. Die Urteile wurden auf die Psychoakustische Lästigkeit des unmodulierten Schalles mit der Lautheit 11 sone normiert.

Die relative Psychoakustische Lästigkeit der Testschalle steigt mit zunehmender Lautheit der Testschalle. Bei allen Lautheiten wird das mit 32 Hz modulierte Rauschen lästiger als das mit 1 Hz modulierte Rauschen eingestuft. Die modulierten Schalle werden in allen untersuchten Lautheitsbereichen wiederum lästiger als das unmodulierte Rauschen gleicher Lautheit eingeschätzt.

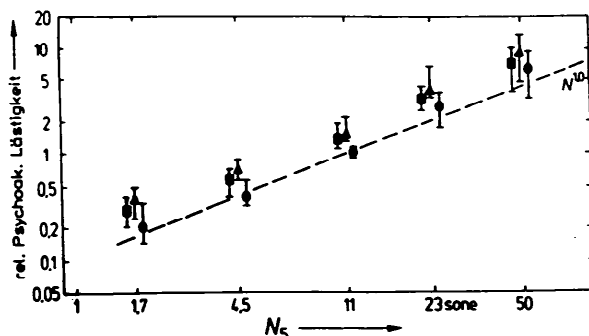


Abb. 3: Rel. Psychoakustische Lästigkeit modulierter und unmodulierter Testschalle als Funktion der Perzentillautheit N_5 . Kreise: unmoduliertes Rauschen, Quadrate: $f_{\text{mod}} = 1$ Hz, Dreiecke: $f_{\text{mod}} = 32$ Hz.

Die Beurteilung der Psychoakustischen Lästigkeit des unmodulierten Schalles folgt erwartungsgemäß der objektiven Lautheit (gestrichelte Gerade). Die relative Psychoakustische Lästigkeit der modulierten Schalle steigt etwas flacher über der Lautheit als die der unmodulierten Schalle. Bildet man das Verhältnis der Psychoakustischen Lästigkeit von modulierten Testschallen und unmoduliertem Rauschen so ist dieses Verhalten deutlicher sichtbar.

Dies ist in Abb. 4 für das mit 32 Hz modulierte Rauschen exemplarisch gezeigt. Der Quotient der relativen Psychoakustischen Lästigkeit des mit 32 Hz modulierten Rauschens und des unmodulierten Rauschens nimmt mit zunehmender Lautheit etwas ab, obwohl Schwankungsstärke und Rauigkeit eine umgekehrte Pegelabhängigkeit besitzen.

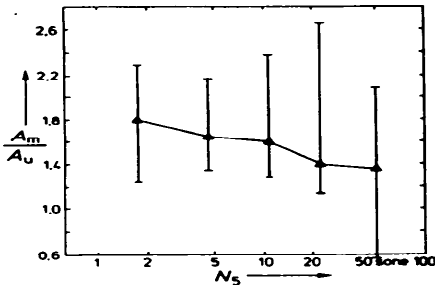


Abb. 4.: Quotient der rel. Psychoakustischen Lästigkeit des mit 32 Hz modulierten Breitbandrauschens und eines unmodulierten Breitbandrauschens als Funktion der Perzentillautheit N_5 .

Die Ergebnisse im mittleren Lautheitsbereich zwischen 4.5 sone und 11 sone stimmen mit den Ergebnissen aus Abb. 2 überein. Bei niedrigen Perzentillautheiten N_5 um etwa 7 sone ergibt sich im Mittel ein Faktor 1.8, während bei hohen Lautheiten nur mehr ein Faktor 1.2 auftritt, allerdings mit großen Wahrscheinlichen Schwankungen.

Zusammenfassung

Bei Untersuchungen mit breitbandigen, sinusförmig amplitudenmodulierten Rauschen zeigt sich in einem großen Bereich von Modulationsfrequenzen ein deutlicher Beitrag der Hörempfindungen Schwankungsstärke und Rauigkeit bei der Beurteilung der Psychoakustischen Lästigkeit. Während in der eingangs erwähnten Untersuchung von Zwicker /1/, nur der Beitrag der Schwankungsstärke diskutiert wird, zeigen die dargestellten Ergebnisse, daß die Schwankungsstärke und die Rauigkeit eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der Psychoakustischen Lästigkeit zeitlich strukturierter Schalle spielen. Der Einfluß der Zeitstruktur macht sich insbesondere bei leisen Schallen bemerkbar.

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

Literatur

- /1/ Zwicker, E. (1991), Ein Vorschlag zur Definition und Berechnung der unbeeinflussten Lästigkeit. *Z. f. Lärmbek.* **38**, 91-97.
- /2/ Fastl, H. (1977), Roughness and temporal masking patterns of sinusoidally amplitude modulated broadband noise. In: *Psychophysics and physiology of hearing* (E.F. Evans & J.P. Wilson, eds.), Academic Press, London, 403-414.
- /3/ Fastl, H. (1982), Fluctuation strength and temporal masking patterns of amplitude modulated broadband noise. *Hearing Research* **8**, 59-69.
- /4/ Zwicker, E., Deuter, K., Peisl, W. (1985) Loudness meters with large dynamic range. In: *Proc. inter-noise '85*, Vol. II, 1119-1122.