

MESSUNGEN ZUR ABHÄNGIGKEIT DER NACHHÖRSCHWELLE VON DER DAUER DES TESTSCHALLES

Gisbert Gralla,

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München, Arcisstr. 21,

D - 8000 München 2

Einführung: Das dynamische Verhalten des Gehörs ist seit vielen Jahren Gegenstand eingehender Untersuchungen. In den Jahren 1976 bis 1979 hat H. Fastl [1,2,3] eine umfangreiche Arbeit zur Vor-, Simultan- und Nachverdeckung vorgelegt. Eine der Fragen, die hierbei offengeblieben sind, ist die Abhängigkeit der Nachhörschwelle von der Testschalldauer für Testschalle, die länger als ungefähr 20 ms dauern. Diese Frage ist für die Modellbildung dann interessant, wenn die Integrationeigenschaften des Gehörs nachgebildet werden sollen. Für stationäre Maskierer gilt, daß das Gehör etwa 200 ms lang über die Intensität eines Testschalles integriert. In einer graphischen Darstellung bedeutet dies, daß der Pegel des Testschalles, angetragen über der logarithmisch dargestellten Testschalldauer, mit einer Steigung von 10 dB pro Dekade fällt. Verlängert man die Testschalldauer über 200 ms hinaus, so bleibt die Mithörschwelle konstant. Dieses Verhalten gilt nach [1] auch im Bereich der Nachverdeckung. Das bedeutet, das Gehör kann 200 ms "in die Verdeckung hineinhören". Diese Fähigkeit soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

Meßmethode: Als maskierender Schall wurde ein oktavbreiter Ausschnitt aus weißem Rauschen verwendet. Die Mittenfrequenz betrug 4 kHz, die Eckfrequenzen 2,8 und 5,6 kHz. Der Schalldruckpegel L_M betrug für die erste Meßreihe 70 dB und wurde in einer Kontrollmessung variiert. Testschall war ein 4 kHz Sinuston (Pegel L_T). Maskierer und Testton wurden gaußförmig geschaltet (Anstiegszeit 1 ms). Der zeitliche Verlauf der Darbietung ist in Fig. 1 dargestellt.

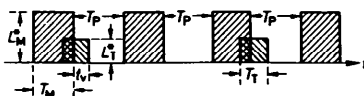


Fig. 1 : Zeitlicher Verlauf der Darbietung von Maskierer und Testschall.

Die Dauer des Maskierers T_M betrug 400 ms, die Verzögerungszeit t_v wurde vom

Abschalten des Maskierers bis zum Abschalten des Testtones gemessen (Abstand der 70% - Werte). Die Pause T_P zwischen zwei Darbietungen betrug 500 ms. Als Meßmethode wurde das Einregeln gewählt. An den Messungen (monaural, Kopfhörer Beyer DT 48 mit Freifeldentzerrer /4/) mit der Verzögerungszeit als Parameter nahmen 5 Versuchspersonen teil, die Messungen mit dem Maskiererpegel als Parameter wurden von einer Versuchsperson durchgeführt. Jeder Meßpunkt wurde von jeder Versuchsperson mindestens 4 mal eingestellt, dargestellt sind die Zentralwerte und die wahrscheinlichen Schwankungsbreiten.

Ergebnisse und Diskussion: Die Ergebnisse der Messungen sind qualitativ für alle Versuchspersonen gleich. In Fig. 2 sind die Zentralwerte und wahrscheinlichen Schwankungen für 5 Versuchspersonen dargestellt. An der Ordinate ist der Pegel des Testtones L_T^* aufgetragen, an der Abszisse die Dauer des Testtones T_T . Parameter der Kurven ist die Verzögerungszeit t_v .

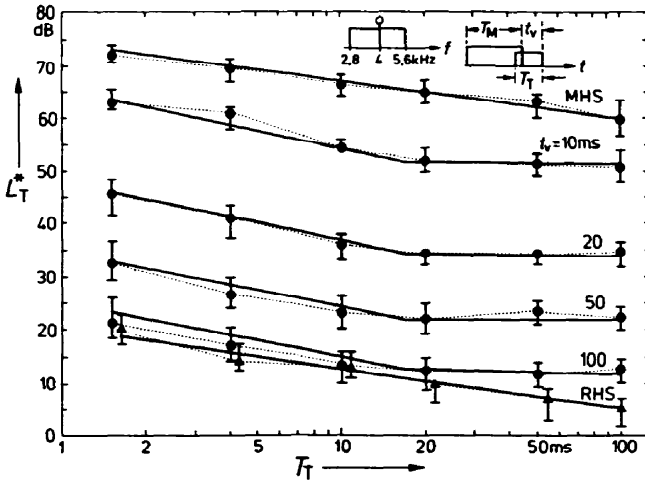


Fig. 2: Nachhörschwelle in Abhängigkeit von der Testtondauer T_T und der Verzögerungszeit t_v , zusätzlich stationäre Mithörschwelle (MHS) und Ruhehörschwelle (RHS). Maskiererpegel $L_M^* = 70$ dB. Zentralwerte und wahrscheinliche Schwankungen für 5 Versuchspersonen. Durchgezogen eingezeichnet: Näherung für die Kurvenverläufe durch zwei Geradenstücke.

Der Verlauf der Kurven für die stationäre Mithörschwelle und die Ruhehörschwelle

sind zum Vergleich ebenfalls in Fig. 2 eingetragen. Ihr Verlauf entspricht dem aus der Literatur bekannten Verlauf, wenn auch die erwartete Steigung von 10 dB/Dekade für keine Versuchsperson erreicht wurde (tatsächliche Steigung : 7 ± 2 dB). Der Verlauf der Mithörschwellen im Bereich der Nachverdeckung ($10\text{ms} < t_v < 100\text{ms}$) läßt sich für jeden Verzögerungswert durch zwei Geradenstücke approximieren, von denen das eine Teilstück eine negative Steigung besitzt, das andere horizontal verläuft. Berechnet man für jede Versuchsperson und jede Verzögerungszeit den Kurvenverlauf so, daß die mittlere quadratische Abweichung zwischen Kurven und Meßwerten minimal wird, so ergibt sich für die Steigung des ersten Geradenstückes -12 ± 3 dB/Dekade (arithm. Mittelwert u. Standardabw.), für den Knickzeitpunkt der Kurven ergibt sich 17 ± 6 ms. Die Steigung für RHS und MHS berechnet sich nach dem gleichen Verfahren zu -7 ± 2 dB/Dekade. Die mit diesen Mittelwerten an die Meßwerte angepaßten Kurven sind in Fig. 2 als durchgezogene Linienzüge eingezeichnet. Der mittlere quadratische Fehler dieser Anpassung ist für alle Kurven kleiner als 1.5 dB. Alle Näherungskurven liegen zudem innerhalb der wahrscheinlichen Schwankungsbreite der Meßwerte.

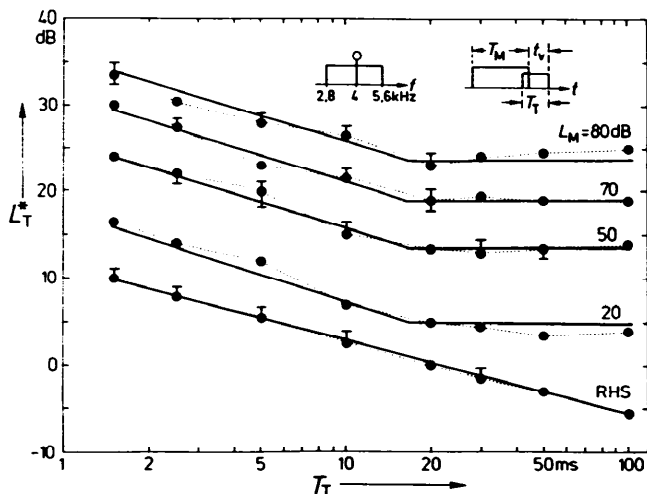


Fig. 3 : Nachhörschwelle in Abhängigkeit von der Testondauer T_T und dem Maskiererepegel L_M^* . Verzögerungszeit t_v - 50 ms. Zusätzlich ist der Verlauf der Ruhehörschwelle (RHS) eingezeichnet. Zentralwerte und wahrscheinliche Schwankung für eine Versuchsperson. Durchgezogen eingezeichnet: Näherung für die Kurvenverläufe durch zwei Geradenstücke.

Da die Abhängigkeit der Nachhörschwelle von der Testtondauer sich grundlegend anders verhält als die der Ruhehörschwelle, ist der Effekt offensichtlich vom Pegel des Maskierers abhängig. Die folgende Untersuchung mit einer Versuchsperson diente als Kontrollmessung zur Bestimmung des Pegelbereiches, in dem dieses Verhalten Gültigkeit besitzt. Gemessen wurde bei der festen Verzögerungszeit $t_v = 50$ ms. Parameter der Kurvenschaar ist jetzt der Maskierpegel L_M . Der Kurvenverlauf ist im gesamten gemessenen Pegelbereich von 20dB bis 80dB ähnlich. Die Anpassung der Parameter für die Geradennäherung wurde wie oben beschrieben durchgeführt. Für den Knickzeitpunkt ergibt sich 17 ± 3 ms, für die Steigung im Bereich $20\text{dB} < L_M < 80\text{dB}$ erhält man -10 ± 1 dB/Dekade. Die mit diesen Mittelwerten an die Meßwerte angepaßten Kurven sind als durchgezogene Linienzüge in Fig. 3 eingezeichnet. Der mittlere quadratische Fehler zwischen den Meßwerten und den Näherungskurven ist für alle Pegelwerte kleiner als 1 dB.

Zusammenfassung: Die Abhängigkeit der Mithörschwelle von der Testtondauer im Bereich der Nachverdeckung läßt sich mit zwei Aussagen charakterisieren: Beträgt die Testtondauer weniger als 20 ms, so steigt die Mithörschwelle mit abnehmender Testtondauer, die Steigung beträgt etwa 12 dB/Dekade. Ist die Testtondauer größer als 20 ms, so hat eine Veränderung der Länge des Testtones keinen Einfluß auf die Mithörschwelle. Dies gilt für breitbandige Maskierer mit einem Frequenzgruppenpegel von mehr als 10 dB.

Die Untersuchungen wurden innerhalb des Sonderforschungsbereiches 204 "Gehör" durchgeführt, der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird.

Literatur

- /1/ Fastl, H. (1976) Temporal masking effects I : Broad band noise masker. *Acoustica* 35, 287 - 302.
- /2/ Fastl, H. (1977) Temporal masking effects II : Critical band noise masker. *Acoustica* 36, 317 - 333.
- /3/ Fastl, H. (1979) Temporal masking effects III : Pure tone masker. *Acoustica* 43, 282 - 294.
- /4/ Zwicker, E., Feidtkeller, R. (1967) *Das Ohr als Nachrichtempfänger*. S.Hierzei Verlag, Stuttgart.