

"Addition" von Mithörschwellen

Georg Lumer

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

1) Einleitung

Die Messung der simultanen Mithörschwelle zweier schmalbandiger Maskierer im Überlagerungsbereich der Einzelmithörschwellen bringt sehr unterschiedliche Ergebnisse. In verschiedenen Testton- und Maskiererkonfigurationen können Mithörschwellenänderungen des gemeinsamen Mithörschwellenmusters gegenüber der höheren Einzelmithörschwelle von -3 dB bis 13 dB gefunden werden [1,2,4].

Das vorliegende Experiment hat das Ziel, die Größe der Mithörschwellenänderung ΔL_T bei der Überlagerung einer Kern- und einer Flankenerregung im Vergleich mit den anderen Konfigurationen (Kern + Kern, Flanke + Flanke) zu ermitteln. Eine Kernerregung liegt vor, wenn die Mithörschwelle von einem physikalischen Reiz am Ort des Testtones bestimmt wird, während dies bei der Flankenerregung nicht der Fall ist [5, S. 112]. Maskierer, die zu Kernerregungen führen, werden hier mit einem Apostroph gekennzeichnet. Für 4 verschiedene Maskiererpaare wurde die Mithörschwellenänderung ΔL_T im Überlagerungsbereich der Einzelmithörschwellen in Abhängigkeit vom Maskiererpegel gemessen.

2) Versuchsdurchführung und Auswertung

An den Messungen, die in einer schallisolierten Meßzelle stattfanden, nahmen 4 normalhörende Versuchspersonen im Alter von 25 bis 30 Jahren teil. Ein Békésy-Audiometer ermöglichte die Bestimmung der simultanen Mithörschwellen durch pendelndes Einregeln. Weitere Daten zur Versuchsdurchführung sind [2] zu entnehmen. Für den tiefereffrequenten Maskierer (siehe Fig. 1) wurde einmal ein Sinuston der Frequenz 1048 Hz (8,8 Bark) verwendet (M1), zum anderen ein Schmalbandrauschen (M1'). Das Schmalbandrauschen wurde von einem Hochpaß der Grenzfrequenz 840 Hz und einem Tiefpaß mit der Grenzfrequenz 900 Hz geformt (M1'). Die obere Flanke von M1' fiel mit 18 dB/Oktave (4 dB/Bark) ab.

Den zweiten, höherfrequenten Maskierer bildete ein Schmalbandrauschen mit den Grenzfrequenzen 2820 Hz (15,3 Bark) und 3080 Hz (15,9 Bark). Zwei unterschiedliche Steilheiten wurden für die untere Flanke benützt (siehe Fig. 1): für M2 eine Steilheit von 174 dB/Oktave (48 dB/Bark), für M2' dagegen nur 44 dB/Oktave (10 dB/Bark).

Aus früheren Messungen von Zwicker und Herla [4] ist bekannt, daß in der hier gewählten Konfiguration für gleiche Einzelmithörschwellen die größte Mithörschwellenänderung ΔL_T gefunden werden kann. Deshalb wurden für jede Versuchsperson zunächst sämtliche Einzelmithörschwellen zweimal bestimmt. Fig. 1 zeigt die Ergeb-

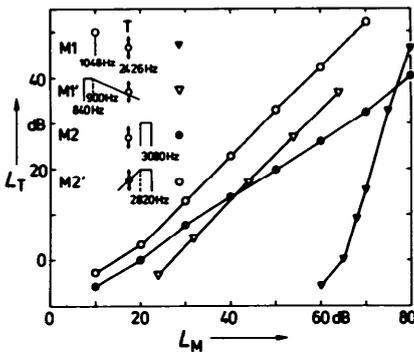


Fig. 1 Einzelmithörschwellen des Testtones der Frequenz $f_T = 2426$ Hz verdeckt durch die vier verwendeten Maskierer M1, M1', M2 und M2' (siehe schematische Darstellung links oben) in Abhängigkeit vom Maskiererepegel L_M .

nisse für eine Versuchsperson. Aus diesen Kurven konnten nun die Maskiererepegel entnommen werden, die für den tieferfrequenten und den höherfrequenten Maskierer dieselbe Einzelmithörschwelle hervorrufen. Waren die Einzelmithörschwellen auf etwa gleiche Werte abgeglichen (ein Fehler von maximal 1,5 dB war zugelassen), bestimmten die

Versuchspersonen die gemeinsamen Mithörschwellen $L_{T(1+2)}$, $L_{T(1'+2)}$, $L_{T(1+2')}$ und $L_{T(1'+2')}$ bei gleichzeitiger Darbietung der beiden Maskierer. Auch diese Messung wurde von jeder Versuchsperson zweimal durchgeführt. Aus der Differenz der gemeinsamen Mithörschwelle $L_{T(1+2)}$ und der Einzelmithörschwelle wird die Mithörschwellenänderung ΔL_T berechnet: $\Delta L_T = L_{T(1+2)} - L_{T1}$. Eine wichtige zusätzliche Information ist der Abstand ΔL_{RHS} der Einzelmithörschwellen von der Ruhehörschwelle: $\Delta L_{RHS} = L_{T1} - L_{RHS}$.

3) Ergebnisse

In Fig. 1 ist für eine Versuchsperson der Pegel des Testtones an der Mithörschwelle für jeden verwendeten Maskiererschall als Funktion des Maskiererepegels aufgetragen. Die Frequenz des Testtons ist konstant ($f_T = 2426$ Hz). Die Steilheit der Kurven in Fig. 1 dient als psychoakustisches Unterscheidungskriterium zwischen Kern- und Flankenerregung. Die Steigung $dL_T/dL_M = 1$ weist auf Kernerregungen hin; von 1 abweichende Steigungen in Fig. 1 sind Flankenerregungen zuzuschreiben. In den Abbildungen 2a, b, c und d ist ΔL_T in Abhängigkeit vom Abstand ΔL_{RHS} zur Ruhehörschwelle für die 4 Maskiererpaare M1' + M2' (Fig. 2a), M1 + M2' (Fig. 2b), M1' + M2 (Fig. 2c) und M1 + M2 (Fig. 2d) aufgetragen. Die Einzelmithörschwellen der Maskierer 1 und 2 wurden dabei auf den gleichen Wert eingestellt. Die verwendete Maskiererpaarung ist in jeder Figur schematisch skizziert. Außerdem sind die linearen Regressionsgeraden eingezeichnet [3, S. 374ff]. Die Wirkung zweier Kernerregungen auf die Verdeckung erfolgt, wie aus Fig. 2a ersichtlich ist, unabhängig vom Abstand zur Ruhehörschwelle entsprechend der Intensitätsaddition. Die Regressionsgerade verläuft praktisch horizontal; der arithmetische Mittelwert beträgt 3,6 dB.

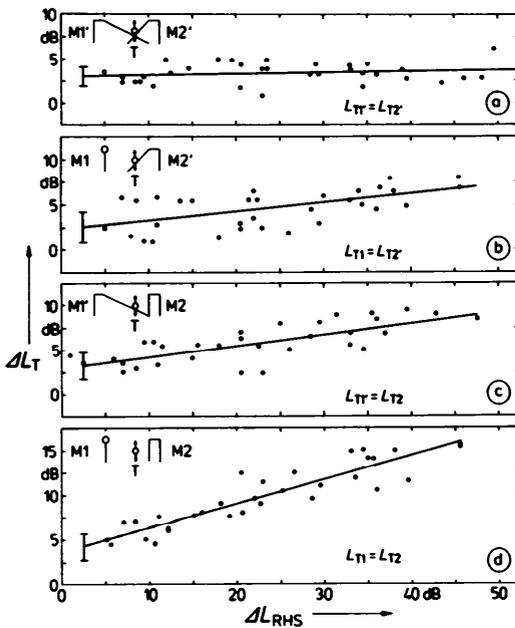


Fig. 2 Mithörschwellenänderung ΔL_T als Funktion vom Abstand zur Ruheshörschwelle ΔL_{RHS} bei gleichzeitiger Verdeckung durch zwei Maskierer für 4 verschiedene Maskiererpaaire. Die Einzelmithörschwellen wurden zunächst auf gleiche Werte eingeregelt. Testtonfrequenz $f_T = 2426$ Hz. Zusätzlich sind in jedes Bild die Regressionsgerade und der Standardschätzfehler (bei $\Delta L_{RHS} = 2,5$ dB) eingezeichnet. (a) $M1' + M2'$: Überlagerung zweier Kernerregungen (b) $M1 + M2'$: Überlagerung einer oberen Flanke und einer Kernerregung (c) $M1' + M2$: Überlagerung einer Kernerregung und einer unteren Flanke (d) $M1 + M2$: Überlagerung einer oberen und einer unteren Flanke

Die Überlagerung der oberen Flanke des Sinustones $M1$ (Flankenerregung) und der flachen

unteren Flanke des Schmalbandrauschens $M2'$ (Kernerregung) führt auf eine Mithörschwellenänderung ΔL_T , die eine geringe Abhängigkeit vom Abstand zur Ruheshörschwelle ΔL_{RHS} aufweist (Fig. 2b). Nimmt ΔL_{RHS} um 10 dB zu, so steigt ΔL_T im Mittel um 1 dB an.

Fig. 2c zeigt ΔL_T , wenn die flache obere Flanke des Maskierers $M1'$ (Kernerregung) der unteren Flanke von $M2$ (Flankenerregung) hinzugefügt wird. Die Regressionsgerade steigt etwas steiler an als in Fig. 2b! ΔL_T erhöht sich um 1,25 dB bei einer Änderung von ΔL_{RHS} um 10 dB.

Eine statistische Analyse [3, S. 427, 428] ergab, daß sich die beiden Regressionsgeraden aus den Fig. 2b und 2c nicht signifikant unterscheiden. So können die beiden "Additionsmuster", bei denen eine Kernerregung und eine Flankenerregung beteiligt sind, gemeinsam betrachtet werden. In großem Abstand von der Ruheshörschwelle ($\Delta L_{RHS} = 40$ dB) wird im Mittel ein Zuwachs ΔL_T von 6 bis 8 dB erreicht. Dieser Betrag stellt einen Mittelwert dar zwischen der reinen Intensitätsaddition (Fig. 2a) und der reinen Flankenaddition (Fig. 2d).

In Fig. 2d erreicht die Regressionsgerade für ΔL_T in großem Abstand von der Ruheshörschwelle ($\Delta L_{RHS} = 40$ dB) sogar Werte von 14 dB, während knapp über der Ruheshörschwelle noch 5 dB gemessen werden. Für $\Delta L_{RHS} > 30$ dB deutet sich eine Sätti-

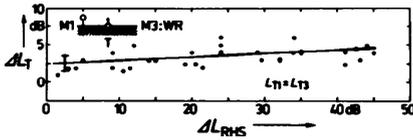


Fig. 3 MHS-Änderung ΔL_T als Funktion von ΔL_{RHS} bei der Überlagerung der oberen Mithörschwellenflanke eines Sinustones ($f_{M1} = 1048$ Hz) mit einem Weißen Rauschen bei gleichen Einzel-MHS. Der Testton hat eine Frequenz von $f_T = 2426$ Hz.

gung an. Dieses Ergebnis von Fig. 2d ist vergleichbar mit den ΔL_T -Werten, die Zwicker und Herla [4] bei der Überlagerung zweier Flankenerregungen gefunden haben.

In [4] wurde auch die Mithörschwellenänderung bei der Überlagerung einer Kern- und einer Flankenerregung untersucht. ΔL_T wurde dort im Kern eines Frequenzgruppenrauschens bei Addition der oberen Flanke eines Sinustones gemessen. Es ergab sich ein maximaler Wert von $\Delta L_T = 3$ dB, während hier in großem Abstand von der Ruheshörschwelle bis zu 8 dB gefunden wurden. In einem zusätzlichen Experiment wurde nun wieder mit 4 Vpn ΔL_T bei der Überlagerung der oberen Flanke eines Sinustones mit einem WR bestimmt (Fig. 3), das mit Sicherheit nur Kernerregungen erzeugt. Der Mithörschwellenzuwachs ΔL_T für gleiche Einzelmithörschwellen ist in Fig. 3 als Funktion von ΔL_{RHS} aufgetragen. ΔL_T beträgt unabhängig vom Abstand zur Ruheshörschwelle im Mittel 3,4 dB, was den von Zwicker und Herla gefundenen 3 dB sehr nahe kommt. Daraus ist zu vermuten, daß die Größe von ΔL_T bei der Überlagerung einer Kern- und einer Flankenerregung auch etwas von der spektralen Verteilung des Maskierers abhängt, der die Kernerregung erzeugt.

4) Zusammenfassung

In Mithörschwellenmessungen wurde für 5 verschiedene Maskiererpaare die maximale Mithörschwellenänderung ΔL_T bei gleichzeitiger Darbietung der beiden Maskierer ermittelt. Die "Addition" zweier Kernerregungen führt zu einem maximalen ΔL_T von 3 dB (Fig. 2a). Bei der Überlagerung einer Kern- und einer Flankenerregung können je nach spektraler Verteilung des Maskierers, der die Kernerregung erzeugt, in großem Abstand von der Ruheshörschwelle Werte für ΔL_T zwischen 3 und 8 dB gefunden werden (Fig. 2b, c, 3). Die gleichzeitige Darbietung zweier Flankenerregungen führt zu Mithörschwellenänderungen bis zu 14 dB (Fig. 2d).

Literatur

- [1] Fastl, H. and Bechly, M., Suppression in simultaneous masking. J. Acoust. Soc. Amer. 74, 1983, 754. [2] Lumer, G., Überlagerung von Mithörschwellen an den unteren Flanken schmalbandiger Schalle. Acustica 54, 1984, 154. [3] Sachs, L., Statistische Auswertungsmethoden. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1969. [4] Zwicker, E. und Herla, S., Über die Addition von Verdeckungseffekten. Acustica 34, 1975, 89. [5] Zwicker, E. und Feldtkeller, R., Das Ohr als Nachrichtenempfänger, S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1967.