

WARUM GIBT ES BINAURALE MITHÖRSCHWELLENDIFFERENZEN?

Eberhard Zwicker

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

In den letzten 20 Monaten wurden bei uns am Institut eine ganze Reihe von Messungen zur binauralen Mithörschwelldifferenz (BMLD) durchgeführt. Da die Ergebnisse für das Verständnis der nachfolgend beschriebenen Experimente wichtig sind, aber noch nicht gedruckt vorliegen, soll zunächst das Wesentliche aus diesen Arbeiten wie folgt zusammengefaßt werden:

- a) Die BMLD ist bei 250, 400 und 800 Hz Testtonfrequenz und bei Gleichmäßig Anregendem Rauschen (GAR) als Maskierer von der Dauer des Testtones erstaunlich unabhängig [1].
- b) Die BMLD tritt auch bei Vor- und Nachverdeckung auf, wobei ihr Wert umso größer wird, je mehr die Mithörschwelle über die Ruhehörschwelle erhöht ist. Bei Nachverdeckung bedeutet dies, daß die BMLD mit wachsender Verzögerungszeit erheblich abnimmt [2].
- c) Die BMLD durchläuft in Abhängigkeit von der Bandbreite Δf eines verdeckenden Bandpaßrauschens der Mittenfrequenz 250 Hz ein schwach ausgeprägtes Maximum bei etwa $\Delta f = 30$ Hz [3].
- d) Die BMLD ist in Abhängigkeit von der Testtonfrequenz bei Verdeckung durch Schmalbandrauschen dann am größten, wenn auch die Verdeckung am größten ist, d.h. in der Bandmitte. Nach größeren und kleineren Testtonfrequenzen fällt die BMLD dann rasch ab, wenn Maskierer und Testschall keine gemeinsamen Spektralanteile besitzen [4]. Dies steht im Gegensatz zu den Abhängigkeiten, die nach den Modellen von Durlach oder Schenkel zu erwarten wären.
- e) Der Unterschied zwischen den Mithörschwellen (monauraler Testton 250 Hz), die bei Verdeckung durch einen binaural dargebotenen 250 Hz-Ton mit unterschiedlicher relativer Phasenlage gemessen werden, kann ebenfalls als BMLD bezeichnet werden. Die Ergebnisse solcher Experimente lassen sich selbst in den individuellen Unterschieden über vektorielle Addition der Töne erklären, wenn die individuellen Schwellen für gerade wahrnehmbare Intensitätsunterschiede und für gerade wahrnehmbare binaurale Verzögerungszeiten Berücksichtigung finden [5].

Mit diesen Annahmen und mit dieser Betrachtungsweise verliert die BMLD ihre Sonderstellung. Offenbar wertet das Gehör insbesondere diejenige Art von Schwelle aus, die beim tiefsten möglichen Testtonpegel gerade noch erreicht wird. Dies ist bei der monauralen und bei der binauralen konphasigen Darbietung (M_0S_0 und $M_{\uparrow}S_{\uparrow}$) vorwiegend die Schwelle der gerade wahrnehmbaren Intensitätsunter-

schiede. Je größer die Phasendifferenzen zwischen den Schallen sind, die den beiden Ohren zugeführt werden, (im Extremfall M_0S_{π}), umso größer wird die Wahrscheinlichkeit, daß die Schwelle der gerade wahrnehmbaren binauralen Verzögerungszeit bereits bei kleineren Testtonpegeln erreicht wird.

Um diese Vorstellungen weiter zu untermauern, wurde der Versuch gemacht, die BMLD bei Verdeckung des Testtones (250 Hz) durch ein Schmalbandrauschen ($\Delta f = 10$ und 30 Hz) der Mittenfrequenz 250 Hz zeitlich zu analysieren, d.h. anstelle von lang andauernden Testtönen ($T_i \geq 200$ ms) mit kurzen Tonimpulsen die BMLD zu bestimmen. Dazu mußte ein reproduzierbares Rauschen erzeugt werden. Um möglichst guten Anschluß an bereits gewonnene Meßergebnisse zu erreichen, wurden dieselben Schmalbandrauschen wieder benutzt, die schon bei den früheren Messungen verwendet wurden. Die Periodizität ergab sich dadurch, daß 500 ms lange Ausschnitte in einen Speicher mit 12 bit Amplitudenauflösung mit 2 kHz Abtastfrequenz eingeschrieben und hernach zyklisch ausgelesen wurden. Aus fünf durchgeführten Speicherungen wurde diejenige benützt, welche die geringste Amplituden- und Umhüllendenunstetigkeit an der "Schnittstelle" zeigte. Die Periodizität des Rauschens war dennoch deutlich hörbar. Ein nachgeschalteter Tiefpaß mit der Grenzfrequenz von 400 Hz und großer Flankensteilheit (240 dB/Okt) unterdrückte unerwünschte Spektren.

Der Testton wurde für die Messungen mit Maskiererbandbreiten Δf_M von 10 bzw. 30 Hz auf eine Impulslänge von 24 bzw. 16 ms reduziert. Anstieg- und Abfallzeiten betragen 10 bzw. 5 ms. Nur bei jedem zweiten Auslesezyklus wurde der Testtonimpuls dargeboten, was die Schwellenfindung mit pendelndem Einregeln wesentlich erleichterte. Der Testtonimpuls (S) und das verdeckende, periodische Schmalbandrauschen (M) wurden binaural über Kopfhörer (Beyer DT 48 mit Freifeldentzerrer) dargeboten und zwar in den beiden Phasenbedingungen M_0S_0 und M_0S_{π} . Verdeckungsmessungen wurden auch mit Testtonauern von 320 bzw. 200 ms durchgeführt. Ein Beispiel für die dabei vorkommenden Schalldruck-Zeitfunktionen ist in Fig. 1 oben dargestellt ($\Delta f_M = 10$ Hz). Der Schalldruckpegel des Testtones wurde dabei zu 68 dB (5 dB über der M_0S_0 -Schwelle) gewählt. Ein 24 ms-Testtonimpuls ist ebenfalls "eingebledet". Der Unterschied zwischen M_0S_0 und M_0 alleine ist beachtlich, noch größer als der Unterschied zwischen M_0S_0 und M_0S_{π} .

In Fig. 1 unten sind die M_0S_0 - und die M_0S_{π} -Mithörschwellen für Testtonimpulsdauern von 24 ms ($T_{TC} = 10$ ms) in Abhängigkeit von der zeitlichen Lage Δt des Impulses (Periodenmuster) nach Beginn des Wiederholungsrauschens aufgetragen. Die zugehörigen BMLDs sind ebenfalls dargestellt. Eine Korrelation der Umhüllenden der oberen Schalldruckzeitfunktionen mit den Mithörschwellen-

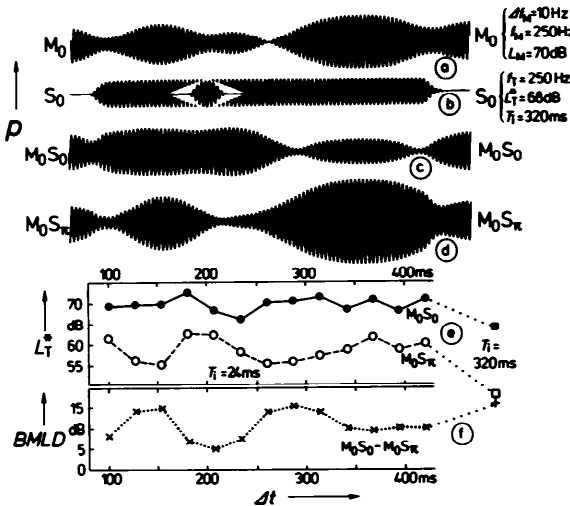


Fig. 1 Schalldruckzeitfunktionen (a) des Schmalbandmaskierers M_0 (b) des Testtones bzw. -impulses S_0 sowie der Kombinationen (c) $M_0 S_0$ und (d) $M_0 S_\pi$. In (e) sind die Mithörschwellen L_T^* der 24 ms langen Testtonimpulse bei $M_0 S_0$ - bzw. $M_0 S_\pi$ -Phasenkonfiguration aufgetragen (Mittelwerte aus 2 Messungen einer VP) sowie in (f) die daraus abgeleitete BMLD. Die Mithörschwellen und die BMLD sind auch für lange Testtöne ($T_i = 320 \text{ ms}$) angegeben. Weitere Daten sind in der Figur rechts oben angegeben.

bzw. BMLD-Periodenmustern ist nicht zu erkennen. Die genauere Auswertung der Zeitfunktionen zeigt jedoch, daß meist dann große BMLDs auftreten, wenn zum Zeitpunkt der Darbietung des Testtonimpulses entweder die Amplitude des Maskierers M_0 klein ist, oder die Phase des Testimpulses um etwa $\pm 90^\circ$ gegenüber dem Maskierer verschoben ist. In beiden Fällen führt die Phasenumkehr des Testsignals auf einem Ohr zu einer erheblichen Empfindlichkeitssteigerung, d.h. zu einer großen BMLD; im ersten Fall über das Intensitätsunterscheidungsvermögen, im zweiten Fall über die eben wahrnehmbare binaurale Verzögerungszeit.

Bei einer Bandbreite von 30 Hz für das verdeckende Schmalbandrauschen wurden entsprechende Experimente durchgeführt. Um die schnelleren zeitlichen Schwankungen dieses Rauschens mit dem Testtonimpuls noch "abtasten" zu können, mußte die Dauer auf 16 ms bei 5 ms Anstiegs- und Abfallzeit reduziert werden. In Fig. 2 sind Ausschnitte aus den benutzten Zeitfunktionen von Maskierer und Testtonimpuls ($T_i = 200 \text{ ms}$) sowie der Kombination $M_0 S_0$ und $M_0 S_\pi$ dargestellt. Zur Veranschaulichung der kurzen Testtonimpulse ist eine solche Zeitfunktion bei $\Delta t = 200 \text{ ms}$ "eingebildet". Im unteren Teil von Fig. 2 sind wiederum die Mithörschwellen und die BMLD als Funktion der Verzögerungszeit Δt dargestellt. Die Ergebnisse entsprechen weitgehend denjenigen aus Fig. 1. Neben den stark von Δt abhängigen Mithörschwellen und BMLDs fällt die tiefliegende $M_0 S_\pi$ -Mithörschwelle bei $T_i = 200$ auf. Während bei $M_0 S_0$ die Mithörschwelle für $T_i = 200 \text{ ms}$ etwa mit der tiefsten Mithörschwelle für $T_i = 16 \text{ ms}$ zusammenfällt, die

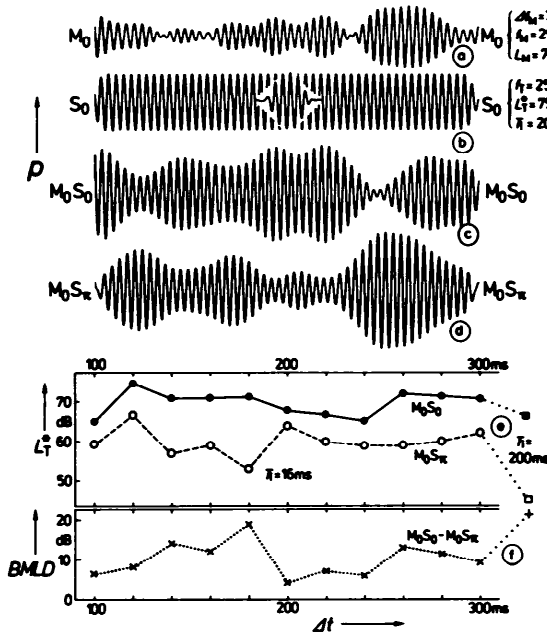


Fig. 2 wie Fig. 1 jedoch für eine Bandbreite des Maskierers $\Delta f = 30 \text{ Hz}$ und Testtonimpulse von 16 ms Dauer (für lange Testtöne ist $T_i = 200 \text{ ms}$).

bei $\Delta t = 100 \text{ ms}$ oder $\Delta t = 240 \text{ ms}$ auftritt, liegt für M_0S_{π} die Mithörschwelle für $T_i = 200 \text{ ms}$ um etwa 8 dB unter der tiefsten Mithörschwelle für $T_i = 16 \text{ ms}$. Der Grund dafür könnte in einem günstigeren zeitlichen Integrationsvermögen des Gehörs für die Schwelle der binauralen Verzögerungszeit liegen, denn in Fig. 1 zeichnet sich bei

den Werten der Mithörschwellen für $T_i = 320 \text{ ms}$ eine ähnliche Tendenz ab.

Wenngleich hier nur erste Ergebnisse von einer Versuchsperson vorgelegt werden konnten, so läßt sich doch daraus ableiten, daß die bei Verdeckung durch Schmalbandrauschen auftretenden Effekte offenbar vollständig mit den anfangs unter a) bis e) zusammengefaßten Abhängigkeiten der BMLD beschrieben werden können, wenn die Zeitfunktionen der verwendeten Schalle berücksichtigt werden. Demnach kann auch in diesen Fällen die BMLD auf die Schwellen für die Wahrnehmbarkeit von Intensitätsunterschieden einerseits und von binauralen Verzögerungszeiten andererseits zurückgeführt werden.

Literatur

- [1] Zwicker, U.T. and Zwicker, E., Binaural masking level difference as a function of masker and testsignal duration. Hearing Research (1984), im Druck.
- [2] Zwicker, E. and Zwicker, U.T., Binaural masking level difference in non-simultaneous masking. Hearing Research (1984), im Druck.
- [3] Henning, G.B. and Zwicker, E., Effects of the bandwidth and level of noise and of the duration of the signal on binaural masking-level differences. Hearing Research (1984), im Druck.
- [4] Zwicker, E. and Henning, G.B., Binaural masking-level differences with tones masked by noises of various bandwidths and levels. H. Res. (1984), im Druck.
- [5] Henning, G.B. and Zwicker, E., Binaural masking-level differences with tonal maskers. Hearing Research (1984), eingereicht.