

ZEITVERZÖGERTE, EVOZIERTE OTO-AKUSTISCHE EMISSIONEN BEI DER VOR-, SIMULTAN- UND NACHVERDECKUNG

Angelika Scherer

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

Die Maskierung ist eine wichtige Eigenschaft des Hörsystems. Man unterscheidet hierbei die spektrale Maskierung bei gleichzeitiger Darbietung des Maskierers und des Testschalls und die zeitliche Maskierung, bei der der Testschall vor oder nach dem Maskierer dargeboten wird. Um die Verarbeitung im Hörsystem verstehen zu können, ist es wichtig zu wissen, welchem Bereich des Gehörs die Maskierungseffekte zugeordnet werden können. Hinweise hierfür können mit Hilfe der zeitverzögerten, evozierten oto-akustischen Emissionen gewonnen werden.

Die zeitverzögerten, evozierten oto-akustischen Emissionen (OAE), die im Folgenden auch kurz als Emissionen bezeichnet werden, entstehen in der Cochlea [1]. Sie hängen vom Erregungszustand des Innenohres ab und spiegeln psychoakustisch meßbare Effekte wieder, falls diese peripheren Ursprungs sind. Die simultane Maskierung konnte auf diese Art und Weise dem peripheren Verarbeitungssystem des Gehörs zugeordnet werden [2], [3]. Die vorliegenden Untersuchungen sollen klären, ob die Emissionen durch die zeitliche Maskierung beeinflusst werden.

Als Maskierer wurde bei der Nachverdeckung ein Bandpaßrauschen (700 Hz bis 2 kHz), bei der Vorverdeckung ein komplexer Ton (die ersten 17 Harmonischen einer Grundfrequenz von 160 Hz) verwendet, jeweils mit einem Pegel von 48 dB, einer Dauer von 20 ms und einer Folgefrequenz von 10 Hz. Die Verwendung physikalisch verschiedener, in ihrer maskierenden Wirkung jedoch ähnlicher Signale war aus meßtechnischen Gründen nötig. Ein 2 ms langer, gaußförmig geschalteter Testtonimpuls mit einer Frequenz von 1,5 kHz wurde zum einen als Testschall beim Messen der Vor- und Nachhörschwelle, zum anderen als evozierender Impuls für die Emissionen benutzt. Der durch die Emissionen erzeugte Schalldruck ist sehr gering. Um das Signal-Störverhältnis zu verbessern, wurde der Testtonimpuls

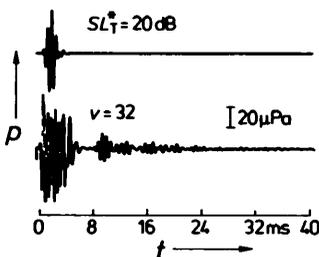


Fig. 1 Mikrofonzeitsignale. oben: Testtonimpuls mit einem Pegel von 20 dB über Ruheshwelle und einer Frequenz von 1,5 kHz, unten: das gleiche Zeitsignal 32-fach verstärkt. Es werden Emissionen im Bereich zwischen 8 und 20 ms sichtbar (der Testtonimpuls übersteuert die Apparatur!).

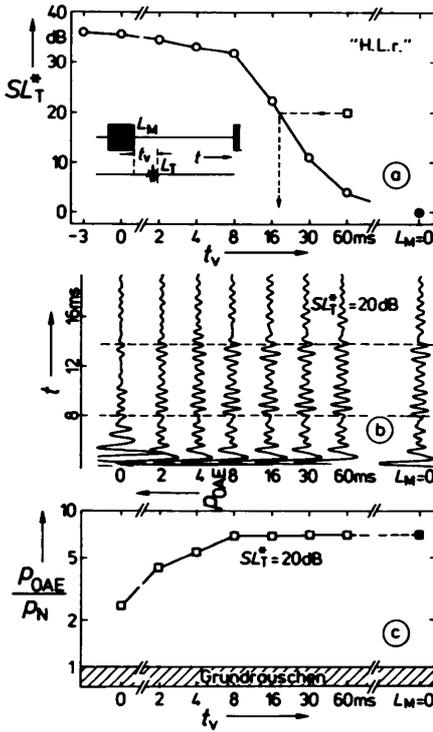


Fig. 2 (a) Nachhörschwelle (SL_T^*) eines 2 ms langen 1,5 kHz Testtonimpulses maskiert von einem Bandpaßrauschen (0,7 bis 2 kHz) mit einem Pegel von 48 dB als Funktion der Verzögerungszeit t_v . " $L_M = 0$ " kennzeichnet die Ruhehörschwelle. (b) Zeitsignale der verzögerten oto-akustischen Emissionen (POAE) evoziert von demselben Testtonimpuls mit 20 dB Pegel über der Ruhehörschwelle bei verschiedenen Verzögerungszeiten t_v . (c) Normierte Amplitude der Emissionen in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit (ausgewertet wurde das in (b) gestrichelt gekennzeichnete Zeitfenster).

wiederholt dargeboten (500 mal) und ein Additions-Mittelungsverfahren angewendet. Fig. 1 verdeutlicht die Größenverhältnisse. Im oberen Zeitsignal ist der Testtonimpuls dargestellt. Verstärkt man dieses Signal z.B. um das 32-fache, wird im Zeitbereich nach dem Reiz die Emission sichtbar. Bei simultaner Maskierung und bei der Vorverdeckung liegt der Maskierer in demselben Zeitbereich, in dem auch die Emissionen auftreten. Damit die Emissionen gemessen werden können, muß

der bezüglich der Amplitude etwa 50 mal größere Maskierer aus dem Mikrofonsignal eliminiert werden. Hierfür wurde ein spezielles Kompensationsverfahren entwickelt. Das Maskierersignal wird abwechselnd "in Phase" und um " 180° " phasenverschoben" dargeboten. Bei einer geradzahligem Anzahl von Mittelungen des Mikrofonsignals kompensiert sich der Maskierer, vorausgesetzt daß für jede Darbietung ein Maskierer mit identischem Zeitverlauf zur Verfügung steht. Das kompensierte Maskierersignal muß ungefähr um den Faktor 1000 kleiner sein als der ursprüngliche Maskierer, damit das gleiche Signal-Störverhältnis wie im unmaskierten Fall erzielt werden kann. An den Messungen nahmen vier normalhörende Versuchspersonen teil. Die Darbietung der Schalle erfolgte über eine für jede Versuchsperson gesondert angefertigte Meßsonde. In der Meßsonde eingebaut sind ein Schallsender (AKG Elektretmikrofon Typ CE 52) zur Übertragung des Testtonimpulses und ein Schallempfänger (Knowles Elektretmikrofon Typ BT-1754). Als Schallquelle für den Maskierer

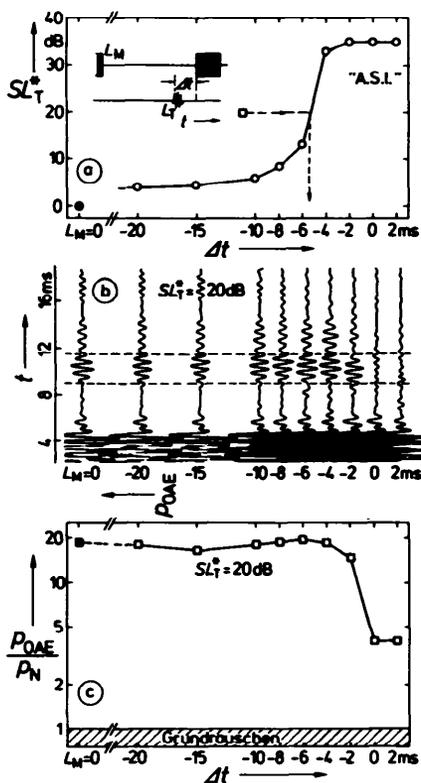


Fig. 3 (a) Vorhörschwelle (SL_T^*) eines 2 ms langen 1,5 kHz Testtonimpulses maskiert von einem komplexen Ton (17 Harmonische einer Grundfrequenz von 160 Hz) mit einem Pegel von 48 dB als Funktion der Zeitdifferenz Δt . (b) Zeitfunktionen der Emissionen ($POAE$) bei einem Testtonpegel von 20 dB über Ruheshwelle bei verschiedenen Verzögerungszeiten Δt . (c) Normierte Amplitude der Emissionen als Funktion der zeitlichen Abstände Δt (ausgewertet wurde das in (b) gestrichelt gekennzeichnete Zeitfenster).

dient ein weiterer Schallsender (Beyer DT 48), der über einen dünnen Schlauch mit der Meßsonde verbunden ist.

In Fig. 2 sind die Meßergebnisse zur Nachverdeckung für eine Versuchsperson zusammengestellt. Fig. 2a zeigt die psychoakustisch mit der Methode des pendelnden Einregels gemessene Nachhörschwelle [4]. Ausgehend von der Simultanhörschwelle nimmt die Nachhörschwelle mit zunehmender Verzögerungszeit t_v zunächst nur wenig, ab $t_v = 8$ ms immer stärker ab. Der "ausgefüllte Kreis" rechts kennzeichnet die Ruheshwelle ($L_M = 0$). Die Zeitfunktionen der Emissionen, die für dieselben Verzögerungszeiten bei einem Pegel von 20 dB über Ruheshwelle gemessen wurden, sind in Fig. 2b dargestellt. Die quantitative Auswertung der Emissionen zeigt Fig. 2c. Aufgetragen ist der mittlere Schalldruckpegel der Emissionen normiert auf einen Bezugsschalldruck P_N . In beiden Darstellungen zeigt sich, daß die Emissionen für größere Verzögerungszeiten unverändert wie im unmaskierten Fall auftreten und erst bei $t_v = 2$ ms kleiner werden und bei $t_v = 0$ beinahe völlig verschwinden. Obwohl der Testtonimpuls für Verzögerungszeiten $t_v < 20$ ms unterhalb der Nachhörschwelle liegt (siehe Fig. 2a) und somit nicht hörbar ist, werden Emissionen evoziert!

Im Gegensatz dazu werden die Emissionen bei simultaner Maskierung beim Unhörbarwerden des Testschalles immer signifikant unterdrückt.

In Fig. 3 sind Meßergebnisse bei Vorverdeckung für eine andere Versuchsperson

son zusammengefaßt. Fig. 3a zeigt einen für die Vorverdeckung typischen Verlauf der Vorhörschwelle [5]. Bei Betrachtung der Schalldruckzeitfunktionen der Emissionen (Fig. 3b) bzw. der quantitativen Auswertung (Fig. 3c) wird deutlich sichtbar, daß die Emissionen bei allen negativen Verzögerungszeiten im Rahmen der Meßgenauigkeit gleich sind, obwohl der Testtonimpuls für $\Delta t = -4$ ms und $\Delta t = -2$ ms unhörbar wird. Bei simultaner Maskierung ($\Delta t = 0$ und $\Delta t = 2$ ms) werden die Emissionen weitgehend unterdrückt.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Vor- und Nachverdeckung offenbar nicht im Innenohr stattfinden und damit das Zeitauflösungsvermögen des Gehörs hauptsächlich durch die nervöse Verarbeitung bestimmt wird. Dies kann aus dem Vergleich der zeitlichen Abhängigkeit der Emissionen einerseits und der Mithörschwellen andererseits geschlossen werden. Bei der zeitlichen Maskierung hat das Unhörbarwerden des Testtonimpulses keinen Einfluß auf die Emissionen, d.h. die evozierende Wirkung des Testtonimpulses ist in der Cochlea noch vorhanden. Im Gegensatz dazu stimmen die Hörempfindung und das Verhalten der Emissionen bei der simultanen Maskierung überein. Der nicht hörbare Testtonimpuls wird bei simultaner Maskierung schon in der Cochlea vom Maskierer "verdeckt" und kann somit keine Emissionen evozieren.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des SFB 204 "Gehör", München, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.

Literatur

- [1] Kemp, D.T. and Anderson, S.D., (Eds.) Proceedings of the Symposium on Non-linear and Active Mechanical Processes in the Cochlea. Hearing Research 2, No. 3/4, 1980, 169.
- [2] Zwicker, E., Masking a peripheral effect! 11. Internationaler Kongreß für Akustik, Paris, Vol. 3, 1983, 71.
- [3] Zwicker, E., Delayed evoked oto-acoustic emissions and their suppression by Gaussian-shaped pressure impulses. Hearing Research 11, 1983, 359.
- [4] Zwicker, E., Psychoakustik, Hochschultext, Springer Verlag, 1982.
- [5] Fastl, H., Temporal Masking Effects: I. Broad Band Noise Masker. Acustica 35, 1976, 287.