

SUPPRESSIONS-PERIODENMUSTER VON SPONTANEN OTO-AKUSTISCHEN EMISSIONEN

C. Dallmayr

Institut für Elektroakustik der Technischen Universität München

1. EINLEITUNG

Seit einigen Jahren ist bekannt, daß das Gehör von Säugetieren und Menschen schmalbandige akustische Signale aussenden kann /1-6/, /9/. Bei Menschen können solche spontanen oto-akustischen Emissionen (SOAE) bei knapp der Hälfte der untersuchten Ohren nachgewiesen werden, mit Frequenzen zwischen 0,7 und 7kHz und Pegeln (im abgeschlossenen äußeren Gehörgang) zwischen -25 und +25 dB (ganz vereinzelte, vermutlich krankhafte Extremfälle bis +40 dB). Die SOAE können durch von außen zugeführten Störschall in ihrer Amplitude reduziert werden (Suppression) /1,2,3,5/. Die Abhängigkeit des zum Erreichen einer bestimmten Amplituden-Verringerung nötigen Suppressor-Pegels von dessen Frequenz ist derjenigen neurophysiologischer und psychoakustischer Tuningkurven sehr ähnlich. Daher kann als Quelle der SOAE das periphere schallverarbeitende System angenommen werden.

2. EINFLUSS DER ZEITSTRUKTUR VOM STÖRSCHALL AUF DIE SOAE

Wird der Störschall (Suppressor) zu- bzw. abgeschaltet, so reagiert die Amplitude der SOAE mit einer kurzen Verzögerung (im Mittel 2-4 ms) und näherungsweise exponentiellem Einschwingen bzw. Abklingen (Zeitkonstante 23 bzw. 13 ms) /5/. Ein sinusförmiger Suppressor genügend tiefer Frequenz (unter 100 Hz) kann die Hüllkurve der SOAE mit seinem Schalldruck-Zeitverlauf beeinflussen. Fig. 1 zeigt den Verlauf des Schalldrucks eines Suppressors der Frequenz $f_{Sup}=32$ Hz

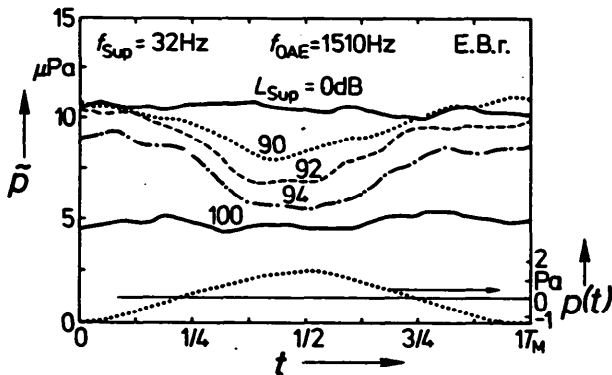


Fig. 1: Effektivwert \bar{p} der spontanen oto-akustischen Emission (SOAE) bei $f_{OAE}=1510$ Hz (Versuchsperson E.B.r.) während der Periode eines Suppressors ($f_{Sup}=32$ Hz) bei mehreren Suppressorpegeln. Unterste Kurve: Schalldruck-Zeitverlauf des Suppressors allein.

während einer Periode (unterste Kurve). Die oberen Kurven zeigen den Verlauf des Effektivwertes der SOAE (Zeitkonstante der Effektivwertbildung 0,8 ms; je 256 mal gemittelt) während dieser Suppressor-Periode für 5 Suppressor-Pegel (Suppressions-Periodenmuster, SPM). Während bei $t=0$ erst für $L_{Sup}>94$ dB eine Veränderung festzustellen ist, wird die Amplitude der SOAE bei $t=0,45 T_M$ und $L_{Sup}=90$ dB deutlich verringert und nimmt mit steigendem L_{Sup} monoton ab. In Fig. 2 ist diese Abnahme (ausgedrückt als Pegelunterschied ΔL zur unbeeinflussten Amplitude) für das Minimum des Suppressions-Periodenmusters bei $t=0,45 T_M$ und das Maximum (eine halbe Periode verschoben) dargestellt. Im Minimum wird die Amplitude bis $L_{Sup}=88$ dB praktisch nicht beeinflusst, darüber nimmt sie umgekehrt proportional zu L_{Sup} ab. Die Abnahme des Maximums verläuft ebenso,

Jedoch erst über $L_{Sup}=94$ dB. Die leichte Überhöhung des Maximums um ca. 1 dB (bei $L_{Sup}=88$ dB) zeigt sich ähnlich auch bei anderen Suppressor-Frequenzen und anderen Versuchspersonen. Aus den entsprechenden Abhängigkeiten kann derjenige Suppressor-Pegel bei verschiedenen Suppressor-Frequenzen abgelesen werden, bei dem die Amplitude der SOAE z.B. um 3 dB abnimmt (Suppressionsmaß $a_{Sup}=3$ dB). Im Beispiel von Fig. 2 ist dies beim Minimum $L_{Sup}=92$ dB, beim Maximum $L_{Sup}=98$ dB.

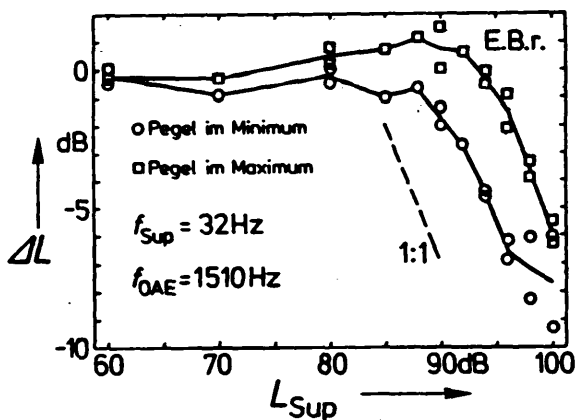


Fig. 2: Pegelabnahme ΔL der SOAE im Minimum und Maximum des Suppressions-Periodenmusters in Abhängigkeit vom Suppressorpegel L_{Sup} . Gestrichelt: 1 dB Abnahme pro 1 dB Erhöhung von L_{Sup} .

Fig. 3 (oberer Bildteil) zeigt die Abhängigkeit des Suppressor-Pegels von seiner Frequenz für ein Suppressionsmaß $a_{Sup} = 3$ dB des Minimums. Mit steigender Suppressor-Frequenz nimmt demnach der notwendige Suppressor-Pegel monoton ab. Mit guter Näherung kann für diesen Abfall ein Wert von -6 dB/Oktave angegeben werden. Bei einer zweiten Versuchsperson ist im ganzen Bereich von 20 Hz bis 100 Hz ein etwa 6 dB höherer Suppressor-Pegel zur gleichen Reduktion nötig, die Abnahme beträgt ca. -8 dB/Oktave.

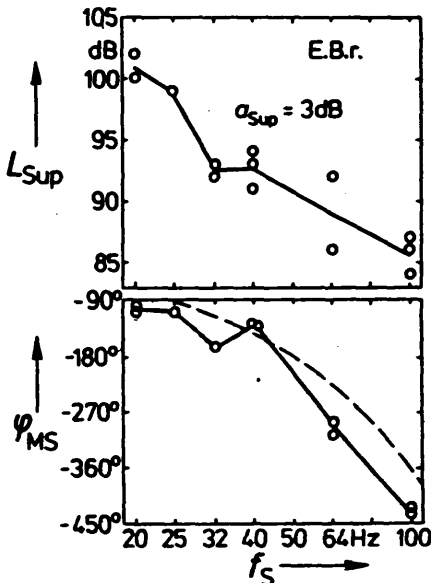


Fig. 3: Oberer Bildteil: Suppressorpegel L_{Sup} und -frequenz f_{Sup} , die das Minimum des Suppressions-Periodenmusters um 3 dB reduzieren. Unterer Bildteil: Durchgezogen: Phasenverschiebung ψ_{MS} des Minimums des SPM, bezogen auf Sogmaximum des Suppressors. Gestrichelt: Näherung durch eine konstante Verzögerungszeit $\Delta t = 10$ ms.

Fig. 3 (unterer Bildteil) zeigt die Phasenverschiebung ψ_{MS} des Minimums des Suppressions-Periodenmusters, bezogen auf das Sogmaximum des Suppressors. Für Frequenzen $f_{Sup} < 40$ Hz beträgt bei dieser Versuchsperson die Phasenverschiebung frequenzunabhängig näherungsweise 120° , und fällt über 40 Hz ab. Bei anderen Versuchspersonen fällt ψ_{MS} über den ganzen Bereich monoton ab, allerdings flacher. Das Minimum des SPM nähert sich also bei sehr tiefen Suppressor-Frequenzen ($f_{Sup} \rightarrow 0$) immer mehr dem Sogmaximum des Suppressors. Eine mit der Frequenz monoton anwachsende Phasenverzögerung ($-\psi_{MS}$), wie sie bei allen vier bisher untersuchten Versuchspersonen auftritt, kann näherungsweise durch eine konstante Verzögerung

rungszeit ΔT erklärt werden. Im Mittel ergibt sich dabei ein $\Delta T = 10$ ms (gestrichelt in Fig. 3 unten).

Eine Möglichkeit, die Verzögerung ΔT der Reaktion der SOAE direkt zu messen, besteht darin, die Frequenz des Suppressors so weit zu erhöhen, daß die SOAE nicht mehr der Periode des Suppressors folgen kann, sondern nur noch seiner Hüllkurve. Bei der Durchführung dieses Experimentes wurde die Hüllkurve aus einem Rechtecksignal ($f_{Mod} = 5$ Hz) abgeleitet, dessen Flanken näherungsweise gaußförmig ($T_{FG} = 2$ ms) verschliffen wurden, um das Spektrum zu begrenzen. Die Hüllkurve der SOAE reagiert auf Suppression dieser Art zeitverzögert und gemäß einem exponentiellen Einschwingen (Abschalten des Suppressors) bzw. Abklingen (Einschalten) /5/. Diese beschriebene Reaktion wurde bestätigt. Sie kann durch eine Verzögerungszeit ΔT und eine Zeitkonstante τ angenähert werden. Für dieselbe Versuchsperson E.B.R. konnten dabei im Mittel eine Zeitverzögerung $\Delta T = 6$ ms und Zeitkonstanten $\tau_{Ab} = 6,5$ ms für das Abklingen, $\tau_{An} = 21$ ms für das Einschwingen gefunden werden. Die SOAE ($f_{OAE} = 1510$ Hz, $L_{OAE} = -4$ dB) wurde dazu mit Suppressoren ($f_{Sup} = 890$ Hz, $L_{Sup} = 50$ dB bzw. $f_{Sup} = 2400$ Hz, $L_{Sup} = 50$ dB) in ihrer Amplitude reduziert. Wenn man annimmt, daß eine bestimmte Phase des 32 Hz-Suppressors für die Suppression verantwortlich ist und die SOAE mit Verzögerung ΔT (wesentlicher Anteil) und Zeitkonstante τ_{Ab} (zusätzlicher Anteil für f_{Sup}) darauf reagiert, so hat nach Fig. 3 das Sogmaximum des Suppressors die maximale Suppressionswirkung. Die direkt gemessenen Werte ΔT und τ können dabei die Phasenverschiebung φ_{MS} erklären.

3. VERGLEICH MIT MITHÖRSCHWELLEN-PERIODENMUSTERN

Eingangs wurde die Ähnlichkeit von psychoakustischen Tuningkurven mit sog. Suppressions-Tuningkurven erwähnt. Als ein psychoakustisches Äquivalent zu den Suppressions-Periodenmustern können Mithörschwellen-Periodenmuster (MHSPM) angesehen werden. In ihnen wird die Abhängigkeit der Mithörschwelle eines kurzen Testtonpulses von seiner zeitlichen Darbietung innerhalb der Periode eines tieffrequenten Maskierers dargestellt /4/, /7/. Fig. 4 zeigt zwei MHSPM der Versuchsperson E.B.R. für eine Maskierfrequenz $f_M = 40$ Hz. Mit dem geringeren Maskiererpegel als Suppressor ($L_M = 95$ dB) wird die SOAE im Minimum des Suppressions-Periodenmusters um 6 dB reduziert, bei $L_M = 100$ dB verschwinden Maximum und Minimum ganz im Rauschen. Ein Charakteristikum der MHSPM für alle Maskierfrequenzen $f_M < 200$ Hz ist, daß die maximale Mithörschwelle beim Sogmaximum des Maskierers auftritt, so auch in Fig. 4. Ein weiteres Maximum tritt bei einigen Versuchspersonen beim Druckmaximum auf /4/.

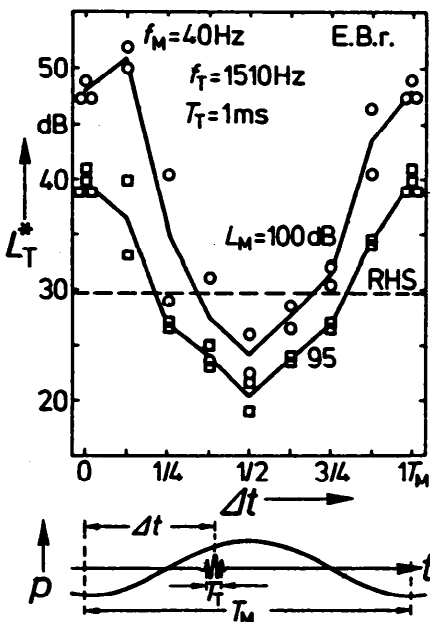


Fig. 4: Oberer Bildteil Mithörschwelle L_T eines Testtonpulses ($f_T = 1510$ Hz, $T_T = 1$ ms) mit gaußförmiger Hüllkurve ($T_{FG} = 1$ ms) in Abhängigkeit von der Zeitverschiebung Δt gegenüber dem Sogmaximum des Maskierers für 2 Maskiererpegel L_M . Unterer Bildteil: Maskierer-Konfiguration für $\Delta t = 3T_M/8$.

In Fig. 4 ist jedoch ein ausgeprägtes Minimum beim Druckmaximum zu finden, das signifikant unter die Ruhehörschwelle reicht (wird bei anderen Versuchspersonen ebenfalls beobachtet /4/). Berücksichtigt man nun die Verzögerung, mit der SOAE auf Störschall reagieren, so korrespondiert im Sogmaximum offensichtlich eine maximale Mithörschwelle mit einer minimalen Amplitude der SOAE. Zeitverzögerte evozierte oto-akustische Emissionen (DEOAE) verhalten sich genauso: Einer maximalen Mithörschwelle entspricht eine minimale Amplitude der DEOAE /8/. Dies ist ein weiterer Hinweis darauf, daß SOAE und DEOAE einer gemeinsamen (peripheren) Quelle entstammen.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204, "Gehör", München gefördert.

LITERATUR

- 1/ Burns, E.M. et al. (1984). Interactions among spontaneous otoacoustic emissions. I. Distortion products and linked emissions. *Hearing Res.* 16, 271-278
- 2/ Rabinowitz, W.M. and Widin, G.P. (1984). Interaction of spontaneous acoustic emissions and external tones. *J.Acoust.Soc.Amer.* 76, 1713-20.
- 3/ Ruggero, M., Rich, N. and Freyman, R. (1983). Spontaneous and impulsively evoked otoacoustic emissions: Indicators of cochlear pathology? *Hearing Res.* 10, 283-300.
- 4/ Scherer, A. (1985). Charakteristische Eigenschaften der Mithörschwellen-Periodenmuster. In: Fortschritte der Akustik, DAGA '85, VDE-Verlag, Berlin.
- 5/ Schloth, E. and Zwicker, E. (1983). Mechanical and acoustical influences on spontaneous otoacoustic emissions. *Hearing Res.* 11, 285-294.
- 6/ Zurek, P.M. and Clark, W.W. (1981). Narrowband acoustic signals emitted by chinchilla ears after noise exposure. *J.Acoust.Soc.Amer.* 70, 446-450.
- 7/ Zwicker, E. (1977). Masking-period patterns produced by very-low-frequency maskers and their possible relation to basilar-membrane displacement. *J.Acoust.Soc.Amer.* 61, 1031-1040.
- 8/ Zwicker, E. (1983). Masking, a peripheral effect! 11. Internationaler Kongreß für Akustik, Paris, Vol. 3, 71.
- 9/ Zwicker, E. (1985). Das Innenohr als aktives schallverarbeitendes und schallaussendendes System. In: Fortschritte der Akustik, DAGA '85, VDE-Verlag, Berlin.