

BESCHREIBUNG DER SIMULTANEN VERDECKUNG MIT EFFEKTEN AUS MITHÖRSCHWELLEN- UND SUPPRESSIONSMUSTERN

Angelika Scherer

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

Verdeckungseffekte spielen bei der Wahrnehmung akustischer Darbietungen eine große Rolle. Neben der zeitlichen nichtsimultanen Verdeckung handelt es sich hierbei hauptsächlich um spektrale simultane Verdeckungseffekte. Diese charakterisieren das spektrale Auflösungsvermögen des Gehörs. Spektrale Verdeckungseffekte für stationäre Schalle mit Hilfe von Mithörschwellen-Tonheitsmustern beschreibbar. Die maskierende Wirkung des Störschalls wird durch die Einhüllende des Schalldruckzeitverlaufs des Maskierers bestimmt.

Die Mithörschwellen-Periodenmuster (MHSPM) beschreiben die maskierende Wirkung eines tieffrequenten Tones auf die Hörbarkeit eines gleichzeitig dargebotenen kurzen Testtonimpulses mittlerer Frequenz als Funktion der zeitlichen Verschiebung des Tonimpulses über die Periode des Maskierers /1/. Die Verdeckung ist in diesem Fall durch die Schalldruckzeitfunktion des Maskierers bestimmt. Diese direkte Zuordnung der Verdeckung zu der Schalldruckzeitfunktion des Maskierers bietet die Möglichkeit, die für die Verdeckung maßgeblichen Größen zu erarbeiten.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es, die Fragen nach den maßgeblichen Größen für die simultane Verdeckung und deren Entstehungsbereich in der Signalverarbeitung des Gehörs zu klären.

Außer den psychoakustischen Mithörschwellenmessungen, die den subjektiven Höreindruck der Versuchsperson beschreiben und durch den gesamten Verarbeitungsprozeß des Gehörs bestimmt sind, kann ein zweites Meßverfahren benützt werden, um den Einfluß eines Störschalls auf einen Testschall zu untersuchen: die zeitverzögerten evozierten oto-akustischen Emissionen (DEOAE). Bei den DEOAE handelt es sich um Aussendungen des Innenohres, die durch aktive Prozesse entstehen und im äußeren Gehörgang der Versuchsperson meßbar sind /2/. DEOAE können durch simultan dargebotene Störtöne unterdrückt werden. Damit steht mit den DEOAE eine Meßmethode zur Verfügung, die es ermöglicht, nichtinvasiv Information über Erregungszustände im Innenohr zu erhalten. Ein Vergleich mit den entsprechenden psychoakustischen Meßergebnissen ermöglicht Hinweise auf den Entstehungsbereich der simultanen Verdeckung.

Ausgangspunkt der Untersuchungen ist die maskierende Wirkung, die ein sinusförmiger tieffrequenter Störschall auf einen Testtonimpuls ausübt, und die daraus resultierende Schwellenverschiebung. Als Maskierer wurde ein 18 Hz-Ton mit einem Pegel $L_M = 120$ dB gewählt. Ein 1,5 ms langer Testtonimpuls bei 1440 Hz wurde mit der Maskierfrequenz entsprechenden Impulsfolgefrequenz dargeboten. Die zeitliche Verschiebung der Tonimpulsfolge über die Periode des Maskierers wurde mit Δt bezeichnet und ist, wie der schematischen Darstellung der Zeitsignale in Abb.1b zu entnehmen ist, folgendermaßen festgelegt: $\Delta t = 0$ bedeutet, daß der Tonimpuls im Sogmaximum des Maskierers liegt. Der Mithörschwellenverlauf in Abb.1a ist charakteristisch für die MHSPM /3/, /4/. Maximale Verdeckung ergibt sich für $\Delta t = 0$ (Sogmaximum). Für $\Delta t = T_M/2$ (Druckmaximum) ist eine signifikant geringere Verdeckung meßbar. Im Bereich der Nulldurchgänge der Schalldruckzeitfunktion des Maskierers ist die Verdeckung minimal.

Für dieselbe Störschall-Testschall-Konfiguration wurde der Einfluß des Störschalls auf die DEOAE untersucht. Als Evozierer wurde der Testtonimpuls mit einem Pegel über Ruhehörschwelle von $SL_T = 18$ dB gewählt. In Abb.1c ist entgegen der sonst üblichen Darstellung der DEOAE die Zeit als Ordinate aufgetragen. Dadurch

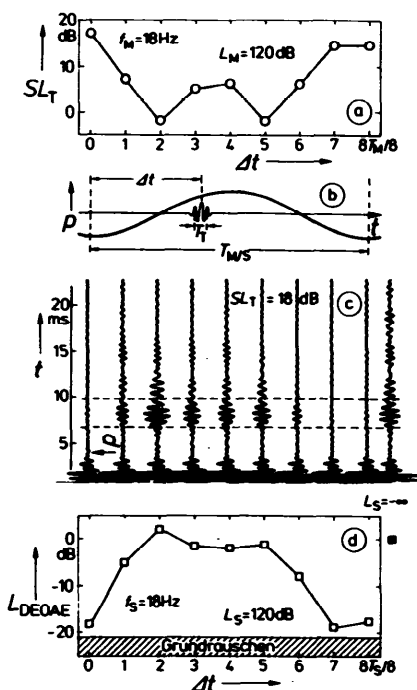


Abb.1: Einfluß eines 18 Hz-Tones mit einem Pegel von 120 dB auf eine 1,5 ms - 1440 Hz Testtonimpulsfolge. (a) Mithörschwellen-Periodenmuster (MHSPM): Aufgetragen ist der Pegel des gerade wahrnehmbaren Testtonpulses über Ruhhörschwelle in Abhängigkeit von der zeitlichen Verschiebung der Tonimpulse über die Periode des Maskierers. (b) Schematische Darstellung der verwendeten Schalle. (c) Zeitfunktion der DEOAE evoziert von den Testtonimpulsen mit einem Pegel von $SL_T = 18 \text{ dB}$ für verschiedene Δt ; die letzte Zeitfunktion rechts beschreibt die DEOAE ohne Suppressor. (d) Suppressions-Periodenmuster (SPM): Der Pegel der DEOAE wurde für das in (c) gestrichelt gekennzeichnete Zeitfenster berechnet.

können die einzelnen Zeitfunktionen der DEOAE direkt der Position des Evozierers innerhalb der Periode des Störschalls zugeordnet werden. Auch hier zeigt sich, daß die DEOAE, die hauptsächlich in dem gestrichelt gekennzeichneten Zeitfenster sichtbar werden, von der Lage des evozierenden Tonpulses innerhalb der Periode des Störschalls abhängen. Vergleicht man die DEOAE, die ohne zusätzlichen Störschall evoziert wird ($L_S = -\infty$), mit den übrigen, stellt man fest, daß die DEOAE im Bereich um das Sogmaximum ($\Delta t = 0, 7T_S/8$) fast vollständig unterdrückt werden. Dagegen ist im Bereich um das Druckmaximum ($\Delta t = 3T_S/8 \dots 5T_S/8$) ein wesentlich geringerer Einfluß des Suppressors auf die DEOAE zu bemerken. In Abb.1d ist die bisher qualitativ beschriebene Wirkung des Störschalls auf die DEOAE quantitativ dargestellt. Aufgetragen ist der in dem Zeitfenster auftretende mittlere Schalldruckpegel der DEOAE L_{DEOAE} über der Periode des Suppressors. Vergleicht man das Suppressions-Periodenmuster (SPM) mit dem entsprechenden MHSPM (Abb.1a), zeigt sich ein spiegelbildlicher Verlauf der Muster zueinander. Das läßt vermuten, daß die Suppression der DEOAE durch einen tieffrequenten Störschall eng mit der maskierenden Wirkung dieses Störschalls auf den Testtonimpuls, der ja auch Evozierer ist, zusammenhängt /5/.

Für sinusförmige Störschalle besteht zwischen den MHSPM, den SPM und dem Schalldruckzeitverlauf des Störschalls eine hohe Korrelation. Da sich bei sinusförmigen Schallen die zeitlichen Ableitungen dieser Schalle im Signalverlauf nicht charakteristisch vom ursprünglichen Signal unterscheiden, bleibt die Frage offen, ob der Schalldruck selber oder aus diesem ableitbare Größen für die Verdeckung

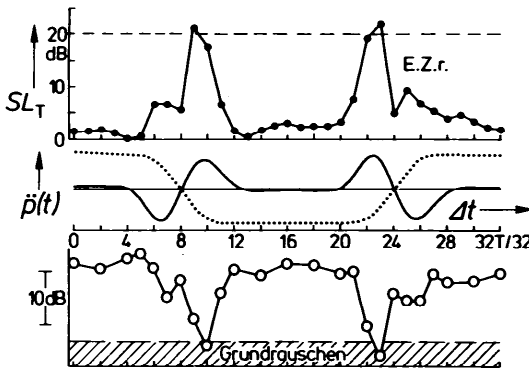


Abb.2: MHSPM (Punkte verbunden mit durchgezogenen Linien), darunter die Schalldruckzeitfunktion des Störschalls (punktliert) und deren 2. Ableitung (durchgezogene Linie). unten: SPM (offene Kreise verbunden mit durchgezogenen Linien) in Abhängigkeit von der zeitlichen Verschiebung der Testtonimpulse ($f_T = 1,3$ kHz, $T_T = 2,5$ ms, $T_{RG} = 1$ ms) über die Periode des Störschalls. Der Spitzenschalldruck des Störschalls beträgt 131 dB, die Periodendauer 300 ms. Für den evozierenden Testtonpuls wurde ein Pegel von 20 dB über Ruheshörschwelle gewählt.

bestimmend sind. Zusammen mit Zwicker wurden deshalb Messungen mit sehr tief-frequenten nichtsinusförmigen Schallen durchgeführt /6/. Ein Beispiel ist in Abb.2 dargestellt. Eine gerundete trapezförmige Funktion, die sich durch die Integration der Zeitfunktion alternierender Gaußdruckimpulse ergab, wurde als Störschall verwendet. Alle Spektralanteile des Schalls lagen unter 50 Hz. Als Wiederholfrequenz wurden 3,3 Hz gewählt. Der Schalldruckspitzenpegel von $\hat{L}_S = 131$ dB ergab bei der Versuchsperson E.Z.r für einen 2,5 ms langen 1,3 kHz-Tonimpuls eine maximale Mithörschwelle von etwa 20 dB über Ruheshörschwelle. Neben dem in Abb.2 in der Mitte eingezeichneten Störschall (punktliert) ist dessen maskierende Wirkung auf den Testtonimpuls (darüber) und die Suppression der DEOAE, die von dem Tonimpuls mit einem Pegel $SL_T = 20$ dB evoziert werden (darunter), aufgetragen. Vergleicht man das MHSPM und das SPM, die einen zueinander spiegelbildlichen Verlauf zeigen, mit dem Schalldruckzeitverlauf des Störschalls, ist keine Übereinstimmung feststellbar. Für die zweite Ableitung des Schalldrucks \ddot{p} (durchgezogene Linie) hingegen ergibt sich ein gute Korrelation mit den beiden Mustern. Zu positiven Werten von \ddot{p} gehört eine starke Verdeckung bzw. Suppression, wohingegen negative Werte von \ddot{p} eine wesentlich geringere Verdeckung und Suppression bewirken. Diese Aussagen lassen sich auch auf die Wirkung sinusförmiger tieffrequenter Schalle übertragen.

Eine exakte Zuordnung der Schalldruckzeitfunktion bzw. deren 2. Ableitung zu der Verdeckung ist nur bei sehr tiefrequenten Schallen möglich. Bei höheren Frequenzen kann die Zeitstruktur des Störschalls nicht mehr vollständig aufgelöst werden. Ob also \ddot{p} auch bei höheren Frequenzen für den Verlauf der Verdeckung maßgebend ist, kann auf diese Weise nicht geklärt werden. Es ist jedoch für Signale beliebiger Frequenz möglich, jeweils denjenigen Maskiererpegel zu bestimmen, der nötig ist, um für einen vorgegebenen Testton eine definierte Anhebung der Mithörschwelle zu erzielen. In Abb.3 ist der Pegel L_M dargestellt, den ein Maskierer der Frequenz f_M benötigt, um für einen Testtonimpuls der Frequenz f_T eine konstante Verdeckung zu erzeugen. Dabei wurden Daten für verschiedene Testtonfrequenzen und Mithörschwellenanhebungen zusammengefaßt. Für eine einheitliche Darstellung mußten die Pegelwerte L_M korrigiert werden und sind deshalb mit L_M' gekennzeichnet. Der Pegel L_M' nimmt erwartungsgemäß mit zunehmender Maskierfrequenz ab. Auffallend ist aber, daß diese Abnahme nicht über den ganzen

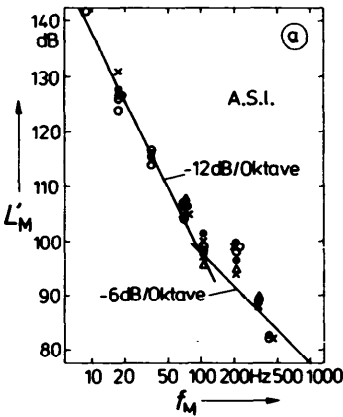


Abb.3: Pegel L'_M , den ein Maskierer mit der Frequenz f_M benötigt, um für einen Testtonpuls eine konstante Verdeckung zu bewirken. (○) $SL_T = 10$ dB, (●) 20 dB, (×) 30 dB und (△) 40 dB. Die Frequenzen der Testtonimpulse betragen 720 Hz, 1440 Hz und 2880 Hz, ihre Folgefrequenz ist f'_M .

Frequenzbereich konstant ist. Für tiefe Frequenzen ergibt sich eine Geradenäherung mit der Steigung -12 dB/Oktave. Die Meßpunkte für höhere Frequenzen können mit einer Geraden der Steigung -6 dB/Oktave angenähert werden, d.h. für Frequenzen $f_M > 100$ Hz ist nicht mehr die 2. Ableitung \ddot{p} , sondern die 1. Ableitung \dot{p} für die Verdeckung maßgebend. Diese Unterteilung des Frequenzbereiches ist wahrscheinlich auf den Einfluß des Helicotremas auf sehr tieffrequente Signale zurückzuführen /7/. Das Helicotrema stellt einen Hochpaß 1. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von etwa 100 Hz dar.

Zusammenfassend können die Fragen in bezug auf die Verdeckung folgendermaßen beantwortet werden: Da ein simultan dargebotener Störschall sowohl einen Testtonimpuls verdeckt als auch die von diesem Tonimpuls evozierten Emissionen unterdrückt, muß schon in dem Entstehungsbereich der DEOAE, d.h. in der Cochlea, der maskierende Einfluß des Störschalls wirksam sein. Nachdem im Außen- und Mittelohr keine Verdeckungseffekte auftreten, muß die spektrale Verdeckung in der Cochlea entstehen. Die für die Verdeckung maßgebliche Größe muß der 1. Ableitung des Schalldrucks proportional sein, wobei für sehr tieffrequente Schalle das Helicotrema eine zusätzliche Differentiation bewirkt.

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

- /1/ Zwicker, E. (1976): Die Abbildung der Schalldruckzeitfunktion im Mithörschwellen-Periodenmuster. *Acustica* 34, 189-199
- /2/ Kemp, D.T. (1978): Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *J. Acoust. Soc. Am.* 64, 1386-1391
- /3/ Zwicker, E. (1976): Psychoacoustic equivalent of period histograms. *J. Acoust. Soc. Am.* 59, 166-175
- /4/ Scherer, A. (1985): Charakteristische Eigenschaften der Mithörschwellen-Periodenmuster. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'85, 511-514
- /5/ Scherer, A. (1986): Die Amplitude evozierter oto-akustischer Emissionen als Maß für die Verdeckung. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'86, 413-416
- /6/ Zwicker, E., Scherer, A. (1987): Correlation between time functions of sound pressure, masking and OAE suppression. *J. Acoust. Soc. Am.*, im Druck
- /7/ Dallos, P. (1970): Low-frequency auditory characteristics: species dependence. *J. Acoust. Soc. Am.* 48, 489-499