

CHARAKTERISTISCHE EIGENSCHAFTEN DER MITHÖRSCHWELLEN-PERIODENMUSTER

Angelika Scherer

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

Die Mithörschwellen-Periodenmuster (MHSPM) beschreiben die maskierende Wirkung eines tiefrequenten Tones auf die Hörbarkeit eines kurzen Testtonimpulses bei mittleren Frequenzen als Funktion der zeitlichen Verschiebung des Testtonimpulses über die Periode des Maskierers. Sie geben den zeitlichen Verlauf der Verdeckung, die durch den sich zeitlich innerhalb einer Periode ändernden Schalldruck hervorgerufen wird, wieder. Dadurch unterscheiden sich die MHSPM von den simultanen spektralen und den nichtsimultanen zeitlichen Verdeckungen, bei denen die maskierende Wirkung auf einer Mittelung über viele Perioden des Maskierers beruht.

Von Zwicker wurden in großer Anzahl Messungen von MHSPM vorwiegend für eine Versuchsperson veröffentlicht /1/, /2/. Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es, charakteristische Eigenschaften bzw. signifikante Unterschiede der MHSPM bei mehreren Versuchspersonen herauszuarbeiten.

Als Maskierer wurden Sinustöne mit den Frequenzen  $f_M = 36, 108, 216$  und  $324$  Hz verwendet. Ein  $1,5$  ms langer, gaußförmig geschalteter Testtonimpuls (Anstiegszeit  $T_{rG} = 0,5$  ms) mit einer Frequenz von  $1440$  Hz und ein  $0,7$  ms langer, gaußförmig geschalteter Testtonimpuls mit einer Anstiegszeit von  $T_{rG} = 0,3$  ms und einer Frequenz von  $2880$  Hz wurden als Testschalle benutzt. Die Folgefrequenz der

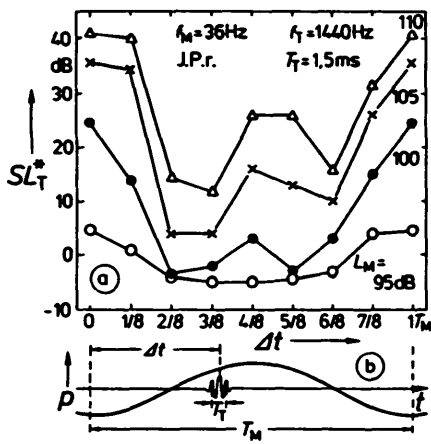


Fig. 1 (a) Mithörschwellen-Periodenmuster eines 1,5 ms langen 1440 Hz Testtonimpulses maskiert von einem 36 Hz Sinuston bei verschiedenen Maskiererpegeln  $L_M$ ; aufgetragen ist der Pegel  $SL_T^*$  des gerade wahrnehmbaren Testtonimpulses über Ruheshchwelle in Abhängigkeit von der zeitlichen Verschiebung  $\Delta t$  innerhalb der Periode  $T_M$ . (b) Schematische Darstellung der Zeitsignale von Testschall und Maskierer.

Tonimpulse entsprach der jeweiligen Maskierfrequenz. Ein für die MHSPM charakteristisches Meßergebnis einer Versuchsperson bei einer Maskierfrequenz  $f_M = 36$  Hz und einer Testtonfrequenz  $f_T = 1440$  Hz ist in Fig. 1a dargestellt. Die Mithörschwelle wurde mit der Methode des pendelnden Einregels bestimmt. Aufgetragen ist in Fig. 1a der Pegel  $SL_T^*$  des Testtonimpulses über der Ruhhörschwelle in Abhängigkeit von der zeitlichen Verschiebung  $\Delta t$  des Testtonimpulses innerhalb der Periode des Maskierers. Die zeitliche Verschiebung  $\Delta t$  ist entsprechend der schematischen Darstellung der Zeitfunktionen von Maskierer und Testschall in Fig. 1b festgelegt. Dabei bedeutet  $\Delta t = 0$ , daß der Testschall im Sogmaximum des Maskierers liegt. Diese Vereinbarung wird im folgenden beibehalten.

Bei kleinem Maskiererpegel ( $L_M = 95$  dB) spiegelt das MHSPM den Schalldruckverlauf des Maskierers wider, wobei hier sogar Testtonpegel unterhalb der Ruhhörschwelle auftreten. Bei weiter ansteigendem Maskiererpegel bildet sich anstelle des Minimums ein zweites Maximum aus. Auffallend ist, daß das Maximum bei  $\Delta t = T_M/2$  immer kleiner ist als dasjenige bei  $\Delta t = 0$ . Die Mithörschwelle bei den Maxima wächst schneller an als es dem Pegelzuwachs des Maskierers entspricht.

Diese starke Abhängigkeit der Mithörschwellen vom Maskiererpegel wird in Fig. 2 deutlich. Für acht Versuchspersonen ist die Mithörschwelle über dem Maskiererpegel sowohl für  $\Delta t = 0$  (Fig. 2a) als auch für  $\Delta t = T_M/2$  (Fig. 2b) aufgetragen. Für  $\Delta t = 0$  zeigt sich, daß die Mithörschwelle ausgehend von der Ruhhörschwelle im Mittel etwa 2,5 mal schneller ansteigt als der Maskierer. Dieser Effekt entspricht der nichtlinearen Auffächerung der oberen Flanke im Mithör-

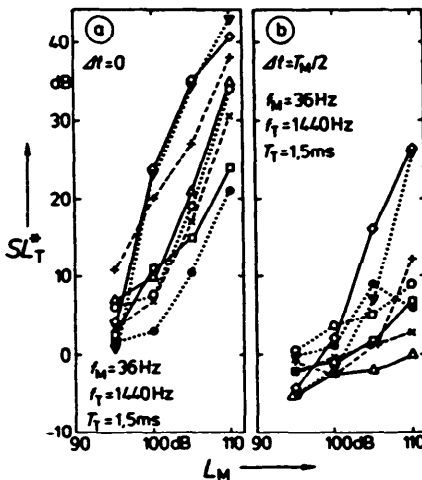


Fig. 2 Mithörschwelle  $SL_T^*$  des Testtonimpulses ( $f_T = 1440$  Hz) in Abhängigkeit vom Maskiererpegel  $L_M$  ( $f_M = 36$  Hz) (a) im Sogmaximum ( $\Delta t = 0$ ) und (b) im Druckmaximum ( $\Delta t = T_M/2$ ) für acht Versuchspersonen.

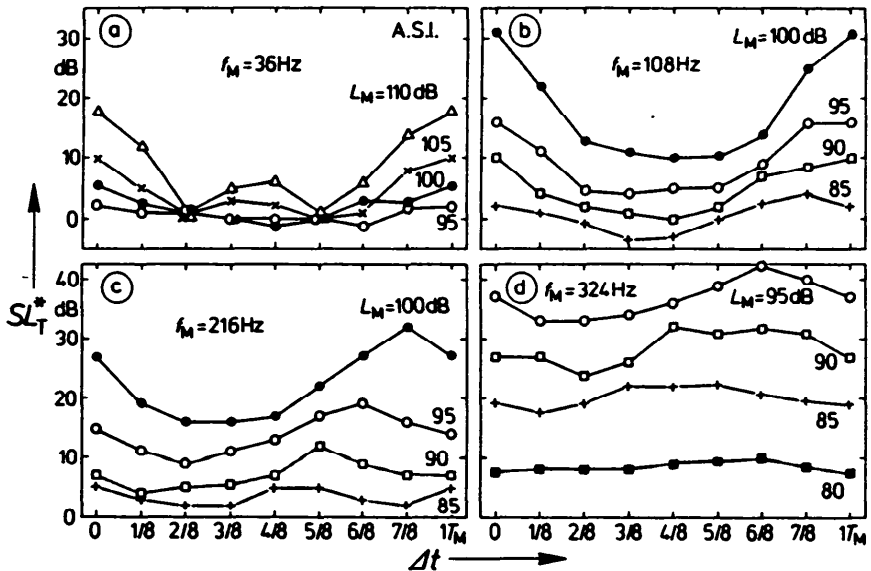


Fig. 3 Mithörschwellen-Periodenmuster eines 0,7 ms langen 2880 Hz Testtonimpulses maskiert von einem (a) 36 Hz, (b) 108 Hz, (c) 216 Hz und (d) 324 Hz Sinuston bei verschiedenen Pegeln  $L_M$ .

schwelen-Tonheitsmuster für stationäre Schalle /3/. In Fig. 2b ist dieser nicht-lineare Anstieg nur bei zwei Versuchspersonen signifikant, deutet sich aber bei den übrigen nach hohen Pegeln hin an. Ein Vergleich der MHSPP der einzelnen Versuchspersonen ergibt, daß es sich qualitativ um sehr ähnliche Muster mit denselben Charakteristiken handelt, jedoch absolut gesehen sehr unterschiedliche Maskiererpegel (bis zu 10 dB) verwendet werden müssen, um bei den einzelnen Versuchspersonen MHSPP mit ähnlichem Pegelniveau hervorzurufen. Diese individuellen Unterschiede scheinen sich mit den individuellen Unterschieden zu decken, die bei der Verdeckung mit stationären Testschallen gemessen werden.

Wie die Maskiererfrequenz den Verlauf der MHSPP beeinflusst ist in Fig. 3 für vier Maskiererfrequenzen zwischen 36 Hz und 324 Hz aufgezeigt. Bei allen Messungen wurde ein 0,7 ms langer Testtonimpuls mit einer Frequenz  $f_T = 2880 \text{ Hz}$  benutzt. Die hierbei auftretenden Veränderungen der MHSPP lassen sich folgendermaßen beschreiben: (a) Bei den höheren Maskiererfrequenzen - ab  $f_M = 108 \text{ Hz}$  - weisen die MHSPP bei den verwendeten Maskiererpegeln nur mehr ein Maximum auf. (b) Die minimalen Testtonpegelwerte eines MHSPP steigen bei gleichbleibendem Maskiererpegel mit zunehmender Maskiererfrequenz an. Beispielsweise ergibt sich

bei einem Maskiererpegel von 95 dB bei  $f_M = 36$  Hz ein minimaler Testtonpegelwert im MHSPM von -1 dB, bei  $f_M = 108$  Hz von 4 dB, bei  $f_M = 216$  Hz von 9 dB und bei  $f_M = 324$  Hz von 33 dB. Dies ist auf den kleiner werdenden Frequenzabstand zwischen Maskierer und Testschall bei zunehmender Maskierfrequenz und die damit verbundene stärkere Verdeckung des Maskierers zurückzuführen. (c) Die Pegeldifferenz zwischen dem Maximal- und Minimalwert eines MHSPM ist ein Maß für die Eigenschaft des Gehörs, der zeitlichen Struktur des Maskierers zu folgen. Sie nimmt mit zunehmender Maskierfrequenz ab, wenn man Muster mit etwa gleichen minimalen Pegelwerten vergleicht. Für einen minimalen Testtonpegel  $SL_T^0 = 5$  dB tritt bei  $f_M = 108$  Hz und  $L_M = 95$  dB eine Pegeldifferenz von 12 dB auf, bei  $f_M = 216$  Hz und  $L_M = 90$  dB eine Differenz von 8 dB und bei  $f_M = 324$  Hz und  $L_M = 80$  dB eine Pegeldifferenz von etwa 2 dB. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß bei gleichbleibender Testtondauer das Verhältnis Testtondauer zur Periodendauer der Maskierer bezüglich der Zeitauflösung mit zunehmender Maskierfrequenz verschlechtert.

Sämtliche Untersuchungen wurden bei acht Versuchspersonen durchgeführt. Die in Fig. 3 gemessenen und unter (a) bis (c) beschriebenen Eigenschaften traten bei allen Versuchspersonen in ähnlicher Weise auf. Deutliche Unterschiede waren lediglich bei dem zur Erreichung eines bestimmten Mithörschwellenwertes notwendigen Maskiererpegel zu beobachten, ein Effekt, der auch bei Verdeckungsexperimenten mit stationären Testschallen an der oberen Flanke des Mithörschwellen-Tonheitsmusters zu beobachten ist. Dort treten ebenfalls starke individuelle Unterschiede auf.

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

#### Literatur

- /1/ Zwicker, E., Psychoacoustic equivalent of period histograms. J. Acoust. Soc. Am. 59, 1976, 166-175.
- /2/ Zwicker, E., Die Abbildung der Schalldruck-Zeitfunktion im Mithörschwellen-Perioden-Muster. Acustica 34, 1976, 189-199.
- /3/ Zwicker, E., Psychoakustik, Hochschultext, Springer Verlag, 1982.