

Messungen zum Overshootphänomen in monauralen und diotischen Konfigurationen

REGINE V. KLITZING, RALF FASSEL, ARMIN KOHLRAUSCH¹

Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen

Einleitung

Aus zahlreichen Messungen ist bekannt, daß ein Testton zu Beginn eines Rauschmaskierers schlechter zu detektieren ist als am Ende, was sich in einer Erhöhung der Mithörschwellen ausdrückt. Dieser unter dem Namen *Overshoot* bekannte Effekt tritt besonders deutlich bei sehr kurzen hochfrequenten Testtönen in breitbandigem Rauschen auf. In einigen Untersuchungen wurde der Overshoot in Abhängigkeit vom Maskiererpegel gemessen. Experimente von Zwicker [1] und Fastl [2] ergaben bis zu einem bestimmten Maskiererpegel ein monotonen Anwachsen des Overshoots und darüber eine konstante Größe des Effekts. Bacon [3] hingegen veröffentlichte Ergebnisse, die zeigen, daß der Overshoot von niedrigen zu mittleren Pegeln anwächst und zu höheren Maskiererpegeln wieder abnimmt. Mit 10 ms waren Bacons Testsignale wesentlich länger als die Stimuli bei Fastl und Zwicker. Die hier vorgestellten Messungen zur Pegelabhängigkeit wurden mit kurzen Testsignalen durchgeführt, für die bisher die größten Overshooteffekte gemessen wurden. Eine weitere Zielrichtung der Experimente war der Vergleich des Overshooteffekts in monauralen und diotischen Konfigurationen. Die Motivation hierzu kam durch Resultate aus anderen Messungen unserer Arbeitsgruppe zustande. Sie zeigen, daß die weithin angenommene Identität zwischen monauralen und diotischen Schwellen nicht immer gegeben ist (vgl. Langhans und Kohlrausch [4]).

Signale und Meßverfahren

Als Testsignal wurde ein kurzer Sinuston von 5 kHz Mittenfrequenz verwendet, dessen Einhüllende durch einen Hanning-Puls von 2 ms Gesamtdauer gegeben war. Als Maskierer diente ein 300 ms langes Rauschen mit einem flachen Amplitudenspektrum von 20 Hz bis 10 kHz. Die Rauschleistungsdichte lag im Bereich von -20 bis 30 dB/Hz SPL. Die Mithörschwelle des Testtones wurde in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit (Δt) zwischen Maskierer- und Testtonbeginn untersucht. Es wurden maximal 9 Zeiten zwischen 0 und 278 ms ausgemessen.

Maskierer und Testton wurden digital mit einer Abtastrate von 30 kHz generiert. Nach D/A-Wandlung wurden die Signale durch ein Tiefpaßfilter bei 10 kHz mit einer Flankensteilheit von 96 dB/Oktave begrenzt. Die Messungen wurden mit einem adaptiven 3IFC-Verfahren durchgeführt. Die Pausendauer zwischen den einzelnen Rauschintervallen betrug 500 ms. Als Meßwerte sind die Zentralwerte der Einzelmeßergebnisse aus je vier Messungen angegeben. Die Interquartilen hatten eine Größe von maximal ± 2 dB. Da die Ergebnisse der monauralen Messungen für das linke und das rechte Ohr im Rahmen der Meßgenauigkeit übereinstimmten, wurden die monauralen Untersuchungen i.a. nur für ein Ohr durchgeführt. Die vorgestellten Ergebnisse wurden durch Messungen mit drei weiteren Versuchspersonen bestätigt.

¹aktuelle Anschrift: Institute for Perception Research, P. O. Box 513, NL-5600 MB Eindhoven

Messungen und Ergebnisse

Als Beispiel für eine vollständige Meßserie sind in Bild 1 die Mithörschwellen für die diotische (○) und die beiden monauralen (□, △) Konfigurationen bei verschiedenen Verzögerungszeiten gezeigt. Die Rauschleistungsdichte betrug 30 dB/Hz. Es wird deutlich, daß die monauralen und diotischen Schwellen zu verschiedenen Zeiten unterschiedlich stark voneinander abweichen. Ungewöhnlich ist, daß die diotischen Werte zu Maskiererbeginn um ca. 11 dB über den monauralen liegen, und daß die monauralen Schwellen zu Maskiererbeginn tiefer liegen als am Ende. Der Overshoot wurde folgendermaßen berechnet: Als Referenzpunkt am Maskierende wurde der Zentralwert aus den acht Einzelmessergebnissen für die Verzögerungszeiten 198 ms und 278 ms gewählt. Zur Ermittlung des Overshoots diente dann der Zeitpunkt mit der höchsten bzw. niedrigsten Mithörschwelle, je nachdem, ob ein positiver oder negativer Overshoot gemessen wurde. Diese absoluten Extrema traten direkt zu Maskiererbeginn oder nach 3 ms auf (selten erst nach 8 ms).

Bild 2 zeigt den Overshoot in Abhängigkeit von der Rauschleistungsdichte in der monauralen und der diotischen Konfiguration. Die Messungen ergaben, daß der Overshoot sowohl monaural als auch diotisch stark pegelabhängig ist. Bei tiefen Maskierpegeln ist der Overshoot negativ und verhält sich dort für monaurale und diotische Konfigurationen ähnlich. Monaural (□) erreicht er sein Maximum von 11 dB bei einer Rauschleistungsdichte von ca. 5 dB/Hz. Diotisch (△) beträgt der höchste Wert 13 dB bei ca. 10 dB/Hz. In diesem Pegelbereich fand auch Bacon das Maximum für den Overshoot. Zu höheren Pegeln nimmt der Overshoot für beide Konfigurationen ab und erreicht monaural negative Werte. In den diotischen Messungen hingegen geht der Overshoot deutlich langsamer zurück und bleibt auch bei den höchsten verwendeten Pegeln positiv.

Um diesen Effekt deutlicher aufzuzeigen, ist in den Bildern 3 und 4 das Signal-Rausch-Verhältnis (signal-to-noise-ratio, SNR) für verschiedene zeitliche Lagen des Testtones im Maskierer bei verschiedenen Rauschleistungsdichten dargestellt. Das SNR ist als Verhältnis von Energie (E) des Testtones an der Schwelle zur Rauschleistungsdichte (N_0) angegeben. Zur besseren Übersicht wurde aus den Einzelmessergebnissen zu Beginn des Maskierers ($\Delta t = 0/3/8$ ms (□)) und am Ende ($\Delta t = 198/278$ ms (▽)) jeweils der Zentralwert gebildet. In Bild 3 sind die Meßergebnisse für die monaurale und in Bild 4 für die diotische Konfiguration dargestellt.

Bei niedrigen Rauschleistungsdichten ergibt sich für alle Zeitpunkte im Maskierer sowohl für monaurale als auch für diotische Darbietung der Signale ein ähnliches SNR (ca. 15,5 dB). Am Maskierende (▽) ist die Pegelabhängigkeit des SNR schwach ausgeprägt. Von niedrigen zu hohen Pegeln steigt hier das SNR monaural höchstens um 4 dB und diotisch maximal um 8,5 dB an. Je weiter vorne der Testton im Maskierer liegt, desto ausgeprägter ist die Pegelabhängigkeit der Mithörschwellen. Das SNR erreicht zu Maskiererbeginn (□) bei mittleren Pegeln ein Maximum (monaural ein SNR von 28 dB bei ca. 5 dB/Hz Rauschleistungsdichte und diotisch 30,5 dB bei ca. 10 dB/Hz). Im Gegensatz zu den monauralen Meßergebnissen kehren die diotischen SNR-Werte für hohe Pegel nicht zu ähnlich kleinen Werten wie bei niedrigen Maskierpegeln zurück. Die diotischen Mithörschwellen bleiben für hohe Rauschleistungsdichten zeitabhängig, was sich in einem deutlichen Overshoot in Bild 2 widerspiegelt. Die Differenz zwischen dem SNR zu Beginn (□) und am Ende (▽) des Maskierers entspricht in etwa der Größe des Overshoots in Bild 2 (aufgrund der Zentralwertbildung in den Bildern 3 und 4 ergeben

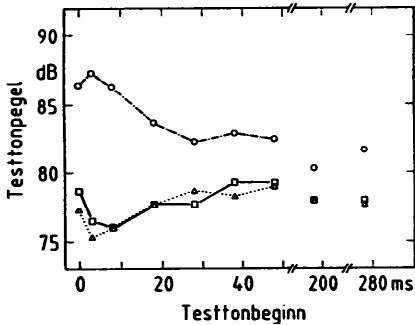


Bild 1: Mithörschwelle des Testtones in Abhängigkeit vom Testtonbeginn im Maskierer. \square = monaural links, \triangle = monaural rechts, \circ . Vp RK.

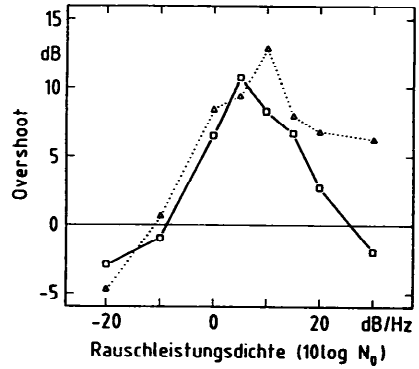


Bild 2: Overshoot in Abhängigkeit von der Rauschleistungsdichte in der monauralen (\square) und in der diotischen (\triangle) Konfiguration. Vp RK.

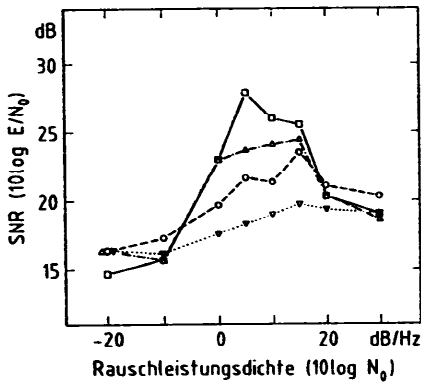


Bild 3: Signal-Rausch-Verhältnis in Abhängigkeit von der Rauschleistungsdichte für die monaurale Konfiguration. Kurvenparameter ist der Testtonbeginn im Maskierer (\square = 0/3/8 ms, \triangle = 18 ms, \circ = 48 ms, ∇ = 198/278 ms). Vp RK.

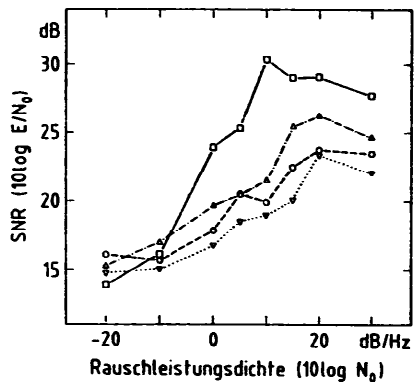


Bild 4: Signal-Rausch-Verhältnis in Abhängigkeit von der Rauschleistungsdichte für die diotische Konfiguration (Symbole s. Bild 3). Vp RK

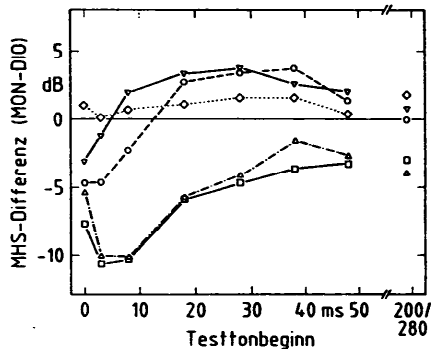


Bild 5: Monaural-diotscher Unterschied in Abhängigkeit vom Testtonbeginn bei verschiedenen Rauschleistungsdichten (\square = 30, \triangle = 20, \circ = 10, ∇ = 0, \diamond = -20 dB/Hz. Vp RK.

sich geringe Unterschiede).

Die Pegelabhängigkeit des SNR entspricht einer Abweichung vom *Weberschen Gesetz*. Würden die Schwellen diesem Gesetz gehorchen, lägen die Meßpunkte für eine Verzögerungszeit alle auf einer Horizontalen. Das wäre mit einem linearen Zusammenhang zwischen Schwellen und Maskiererpegel gleichzusetzen. Diese Abweichung vom Weberschen Gesetz erinnert an mehrere Arbeiten von Carlyon und Moore [5], in denen ein nicht-monotoner Verlauf im SNR für hochfrequente Testsignale gefunden wurde. Dazu mußte aber der Maskierer mit dem Testsignal synchron an- und ausgeschaltet werden. Wurde der Maskierer kontinuierlich angeboten, ergab sich dagegen ein lineares Verhältnis zwischen Mithörschwelle und Maskiererpegel.

Um die Pegelabhängigkeit der oben bei Bild 1 erwähnten monaural-diotischen Unterschiede untersuchen zu können, ist in Bild 5 die Differenz zwischen den monauralen und diotischen Mithörschwellen dargestellt. Sie ist über der zeitlichen Lage des Testtones im Maskierer mit der Rauschleistungsdichte als Kurvenparameter aufgetragen. Befinden sich Maskiererpegel und damit die MHS nahe der Ruhehörschwelle, so wird der monaural-diotische Unterschied minimal. Bei hohen Maskiererpegeln (\square , \triangle) liegen dagegen die diotischen Schwellen je nach Testtonbeginn um bis zu 11 dB über den monauralen. Diese Differenz lag für die drei anderen Versuchspersonen zwischen 4 und 8 dB. Das Phänomen ist besonders ausgeprägt in dem Zeitbereich, in dem auch der Overshoot groß ist, nämlich innerhalb der ersten 20 ms nach Einschalten des Rauschens. Zum Maskiererende hin wird der monaural-diotische Unterschied sehr viel kleiner.

Zusammenfassung

Es wurden Messungen zur zeitlichen Struktur der Simultanverdeckung von Breitbandrauschen vorgestellt. Dabei zeigte sich, daß die Mithörschwellen zu Beginn des Maskierers nicht immer erhöht sein müssen (*positiver Overshoot*), sondern durchaus auch niedriger liegen können als zu späteren Zeitpunkten im Maskierer (*negativer Overshoot* oder *Undershoot*). Des weiteren wurde festgestellt, daß dieses Phänomen sich in monauralen und diotischen Konfigurationen pegelabhängig verhält. Das Maximum des Overshoots tritt bei mittleren Rauschpegeln auf. Es konnte gezeigt werden, daß es sich bei dieser Pegelabhängigkeit des Overshoots um eine *Abweichung vom Weberschen Gesetz* handelt, die sich mit der zeitlichen Lage des Testtones im Maskierer ändert. Ebenfalls zeit- und pegelabhängig ist die Differenz zwischen den monauralen und den diotischen Schwellen. Bei hohen Maskiererpegeln können die diotischen Schwellen deutlich höher liegen als die monauralen. Dieses ungewöhnliche Phänomen und der Overshoot überstreichen den gleichen Zeitbereich.

Literatur

- [1] Zwicker, E. (1965). *J. Acoust. Soc. Am.* **37**, 653-663.
- [2] Fastl, H. (1976). *Acustica* **35**, 287-302.
- [3] Bacon, S.P. (1990). *J. Acoust. Soc. Am.* **88**, 698-702.
- [4] Langhans, A. und Kohlrausch, A. (1991). DAGA '91, dieser Band.
- [5] Carlyon, R.P. und Moore, B.C.J. (1985). *J. Acoust. Soc. Am.* **79**, 461-464.