

Pegelabhängigkeit des Overshoots in statistischen und reproduzierbaren Rauschmaskierern

REGINE V. KLITZING, ARMIN KOHLRAUSCH

Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen und
Institute for Perception Research, Eindhoven, NL

Einleitung

Aus Messungen zur zeitlichen Struktur der Simultanverdeckung ist bekannt, daß die Mithörschwellen eines Testtones erhöht sein können, wenn dieser zu Beginn eines Maskierers angeboten wird. Diesem *Overshootphänomen* ordnete Zwicker [1] eine quantitative Größe zu, die der Differenz zwischen höchster und niedrigster Schwelle innerhalb des zeitlichen Schwellenverlaufes entspricht. Der Effekt tritt besonders deutlich bei Verwendung hochfrequenter, kurzer Testtöne auf. In den hier vorgestellten Messungen wurden die Mithörschwellen eines 2 ms langen 5-kHz-Testtones in Breitbandrauschen bestimmt. Als Maskierer diente statistisches Rauschen („running noise“) oder ein fester reproduzierbarer Rauschausschnitt („frozen noise“). Die Ergebnisse mit dem statistischen Maskierer stimmen mit Resultaten von Bacon [2] überein: von niedrigen zu mittleren Rauschpegeln wächst der Overshoot an und zu höheren Pegeln nimmt er wieder ab (ausführliche Darstellung in [3]). Dabei zeigte sich, daß die Mithörschwellen bei niedrigen Rauschpegeln zu Maskiererbeginn durchaus niedriger liegen können als am Ende (negativer Overshoot, Undershoot). Im Gegensatz zu Experimenten mit running noise hat die Versuchsperson bei Verwendung von frozen noise die Möglichkeit, die zeitliche Feinstruktur des Maskierers auszuwerten. Ob sich dieser Unterschied zwischen den Maskierertypen auf die Größe des Overshoots auswirkt, soll mit Hilfe der im folgenden beschriebenen Experimente untersucht werden.

Signale und Meßverfahren

Als Testsignal wurde ein 2 ms langer Sinuston mit einer Mittenfrequenz von 5 kHz verwendet, der durch ein vollständiges \cos^2 -Fenster geschaltet war. Als Maskierer diente ein 300 ms langes Rauschen mit einem flachen Amplitudenspektrum von 20 Hz bis 10 kHz. Der Gesamtpegel des Rauschens betrug 30, 50 oder 70 dB SPL. Sämtliche Signale wurden digital mit einer Abtastrate von 30 kHz generiert, über 16-bit-D/A-Wandler ausgegeben und bei 10 kHz tiefpaßgefiltert. Die Messungen wurden mit einem adaptiven 3IFC-Verfahren durchgeführt. Die Pausendauer zwischen den einzelnen Rauschintervallen betrug 500 ms. Für die Experimente mit running noise waren sämtliche Rauschintervalle sowohl innerhalb eines Trials (3 Rauschintervalle) als auch in aufeinanderfolgenden Trials einer Meßsitzung unterschiedlich. Bei frozen noise wurde hingegen in allen Meßintervallen ein identischer Rauschausschnitt als Maskierer verwendet.

Die Mithörschwelle des Testtones wurde in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit (Δt) zwischen Maskierer- und Testtonbeginn untersucht. Als Meßwerte sind sowohl die Zentralwerte als auch die Interquartilbereiche aus jeweils vier Einzelmessungen angegeben. Die Experimente wurden monaural und diotisch durchgeführt. Da die Resultate beider Konfigurationen keine signifikanten Unterschiede aufwiesen, werden im folgenden lediglich die diotischen Ergebnisse näher diskutiert. Sie wurden durch Messungen mit einer weiteren Versuchsperson bestätigt.

Konstruktion der Experimente

In Messungen mit reproduzierbarem Rauschen treten zwei Effekte auf, die für die Durchführung der Overshootmessungen von Bedeutung sind und somit bei der Konstruktion der Experimente berücksichtigt werden müssen. Zum einen hängen die Mithörschwellen in frozen noise von der zeitlichen Feinstruktur des Maskierers ab; zum anderen kann sich auch die Startphase des Testtones entscheidend auf die Schwellen auswirken (Langhans [4]). Um die von der Feinstruktur des Rauschmaskierers abhängigen Effekte weitgehend zu eliminieren, muß der Testton in allen Messungen auf die gleiche Maskiererfeinstruktur aufaddiert werden. Deshalb wurde zunächst ein 1 s langes Rauschen generiert und für den Testton in diesem Rauschen eine zeitliche Position festgelegt. Der 300 ms lange Maskierer wurde entsprechend der gewünschten Verzögerungszeit (Δt) zwischen Maskierer- und Testtonbeginn aus dem langen Rauschen ausgeschnitten.

Neben der Feinstruktur des Maskierers kann sich auch die Startphase des Testtones bei festgehaltener Lage seiner Einhüllenden entscheidend auf die Mithörschwellen auswirken. Die Dynamik der Schwellen hängt dabei von der Feinstruktur ab, die das Rauschen an der Stelle aufweist, auf die das Testsignal aufaddiert wird. Für die Experimente wurde eine Testtonposition gewählt, bei der eine ausgeprägte Phasenabhängigkeit der Schwellen auftritt.

Ergebnisse

In Abb. 1 sind die Ergebnisse für die Phasenabhängigkeit der ausgewählten Testtonposition für einen Rauschpegel von 50 dB SPL dargestellt. Einer Phase von 1,0 entspricht eine Phasendrehung von 2π ; sie ist identisch mit der Phase 0,0. Die Wahl der Bezugsphase mit dem Wert Null ist willkürlich. Die Dynamik der Schwellen am Maskiererende ($\Delta t=278$ ms) beträgt in der monauralen Konfiguration (Δ) 8 dB und den diotischen Messungen (\circ) 11 dB. Zu Maskiererbeginn weisen die Schwellen (monaural (\diamond), diotisch (\square)) eine weitaus geringere Dynamik auf. Die Mithörschwellen, die in running noise bei der entsprechenden Verzögerungszeit gemessen wurden (ausgefüllte Symbole), liegen im oberen Drittel der frozen-noise-Schwellen. Für die folgenden Overshootmessungen wurden die Testtonphasen 0,25 und 0,75, bei denen das Schwellenmaximum bzw. -minimum auftrat, als Meßparameter gewählt. Abb. 2 zeigt die Mithörschwellen in Abhängigkeit von der zeitlichen Position des Testtones im Maskierer für die Testtonphasen 0,25 (\square) und 0,75 (\circ) in der diotischen Konfiguration. Für beide Startphasen liegen die Mithörschwellen zu Maskiererbeginn höher als am Ende. Zu Beginn des Rauschmaskierers unterscheiden sich die Mithörschwellen beider Phasen lediglich um ca. 3 dB. Am Maskiererende hingegen liegen die Schwellen der Phase 0,25 um ca. 10 dB höher als die der Phase 0,75, so daß sich für letztere Phase ein wesentlich größerer Overshoot ergibt. Die bereits erläuterte Abhängigkeit der Mithörschwellen von der Phasenlage spiegelt sich in der Differenz zwischen den Kurvenverläufen beider Testtonphasen wider. Einen Erklärungsansatz für die unterschiedliche Phasenabhängigkeit zu Beginn und am Ende des Maskierers bietet das Signal-Rauschverhältnis an der Testtonschwelle. Wird der Testton unmittelbar nach Einschalten des Rauschmaskierers angeboten, ist die Testtonamplitude an der Schwelle wesentlich größer als der Spitzenwert des Rauschens in der zugehörigen Frequenzgruppe. Die Einhüllende des Summensignals (Maskierer+ Testton) wird daher kaum durch die Phase zwischen Rauschen und Testton beeinflusst, so daß die Mithörschwellen keine ausgeprägte Phasenabhängigkeit zeigen. Am Ende des Maskierers hingegen liegt die Testtonamplitude in der Größenordnung des Spitzenwertes des Rauschens. Wie bei der vektoriellen Addition wirkt sich hier eine Änderung der

Startphase des Testtones stärker auf die Einhüllende des Summensignals aus als zu Beginn des Maskierers. Daher zeigen die Mithörschwellen am Maskierende ein stark von der Testtonphase abhängiges Verhalten.

Die Messungen wurden bei einem Rauschpegel von 30 und 70 dB SPL wiederholt. In Abb. 3 ist der Overshoot in Abhängigkeit vom Maskiererpegel für die Phasen 0,25 (Δ) und 0,75 (\square) dargestellt. Zum Vergleich sind neben den Overshootwerten für frozen noise auch diejenigen für running noise (\circ) dargestellt. Für alle drei Experimente zeigt sich der gleiche qualitative Zusammenhang zwischen Overshoot und Rauschpegel; der Overshoot steigt mit wachsendem Maskiererpegel an und nimmt bei einem noch höheren Pegel von 70 dB SPL wieder ab. Für die Testtonphase 0,25 ist der Einfluß des Maskiererpegels auf die Größe des Overshoots am kleinsten und für die Phase 0,75 am größten. Die Werte für running noise bilden einen Übergang zwischen diesen beiden Extrema. Bei einem Rauschpegel von 30 dB SPL kann der Overshoot einen negativen Wert annehmen.

Dieses zeitliche Verhalten der Schwellen spiegelt sich auch in der Phasenabhängigkeit wider, die in Abb. 4 für einen Rauschpegel von 30 dB SPL gezeigt ist. Für $\Delta t = 3$ ms liegen die Schwellen tiefer und weisen eine etwas größere Dynamik auf als für eine Verzögerungszeit von 278 ms. Bei einem Rauschpegel von 70 dB SPL ergibt sich unabhängig von der Testtonphase ein geringer Overshoot. Dieses Verhalten zeigt sich auch in der Phasenabhängigkeit der Schwellen für verschiedene Testtonpositionen (Abb. 5). Die Meßwerte, die bei der langen Verzögerungszeit gemessen wurden, liegen insgesamt tiefer als zu Beginn des Maskierers; beide Kurvenverläufe weisen eine ähnlich geringe Dynamik auf.

Zusammenfassung

Es wurden Messungen zur zeitlichen Struktur der Simultanverdeckung in statistischen und reproduzierbaren Rauschmaskierern vorgestellt. Bei den Experimenten in frozen noise wurde die Wechselwirkung zwischen Testsignal und Feinstruktur des Maskierers berücksichtigt. Die Mithörschwellen zeigen eine Abhängigkeit von der Anfangsphase des Testtones. Daher wurden die Messungen zum Overshootphänomen in frozen noise für die beiden Testtonphasen durchgeführt, bei denen die Schwellen in den Experimenten zur Phasenabhängigkeit ihren maximalen bzw. minimalen Wert annehmen. Ein Zusammenhang zwischen dem Einfluß der Phase auf die Mithörschwellen und der Größe des Overshoot tritt besonders deutlich bei einem Rauschpegel von 50 dB SPL auf. Aufgrund des großen Signal-Rauschverhältnisses zu Maskiererbeginn ist dort die Phasenabhängigkeit verglichen mit den Resultaten am Maskierende sehr gering. Die Ergebnisse zeigen, daß der Overshoot in frozen noise sowohl von der Startphase des Testtones als auch vom Rauschpegel abhängt. Die Overshootwerte, die für die beiden Phasen in frozen noise ermittelt wurden, bilden i.a. die obere und untere Begrenzung für die Werte in running noise. Die Möglichkeit zur Auswertung der Maskiererfeinstruktur führt demnach nicht generell zu einer Verringerung des Overshoots.

Literatur

- [1] Zwicker, E. (1965). J. Acoust. Soc. Am. 37, 653-663.
- [2] Bacon, S.P. (1990). J. Acoust. Soc. Am. 88, 698-702.
- [3] Klitzing, R.v.; Fassel, R. und Kohlrusch, A. (1991). DAGA '91, DPG-Verlag, 557-560.
- [4] Langhans, A. (1991). Dissertation, Universität Göttingen.

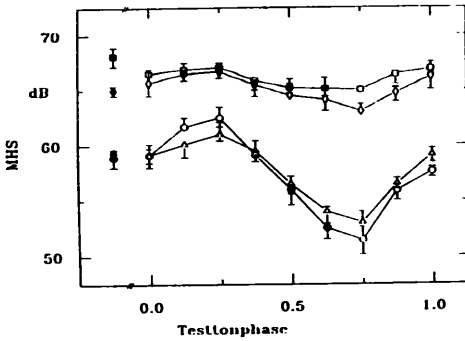


Abb. 1: Phasenabhängigkeit. Monaural (\diamond , \triangle) und diotisch (\square , \circ) für $\Delta t=3$ ms (\diamond , \square) und $\Delta t=278$ ms (\triangle , \circ). Rauschpegel: 50 dB SPL. Ausgefüllte Symbole: running noise.

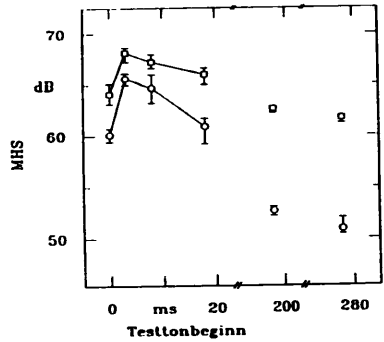


Abb. 2: Diotische Mithörschwellen in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit. Phase 0,25 (\diamond), Phase 0,75 (\circ). Rauschpegel: 50 dB SPL.

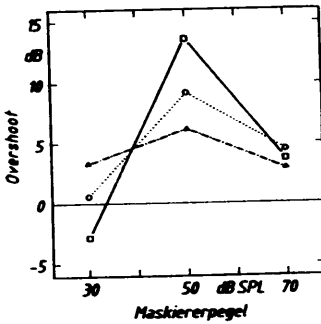


Abb. 3: Overshoot in Abhängigkeit vom Maskiererpegel für running noise (\circ), frozen noise (Phase 0,25 (\triangle) und Phase 0,75 (\square)). Diotisch.

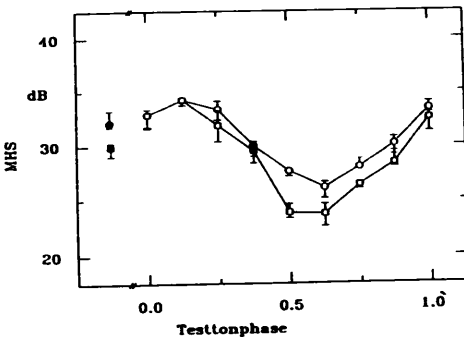


Abb. 4: Phasenabhängigkeit. Diotisch für $\Delta t=3$ ms (\square) und $\Delta t=278$ ms (\circ). Maskiererpegel: 30 dB SPL. Ausgefüllte Symbole: running noise.

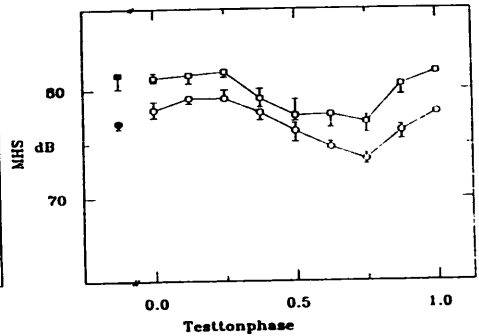


Abb. 5: Wie Abb. 5, aber für einen Maskiererpegel von 70 dB SPL.