

# Einfluss von Modulationswahrnehmung auf den binauralen Gewinn bei Verdeckungsmustereperimenten

Lübken Björn<sup>1</sup>, van de Par Steven<sup>2</sup>, Verhey Jesko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abteilung für Experimentelle Audiologie, Otto-von-Guericke-Universität, D-39120 Magdeburg

<sup>2</sup> Arbeitsgruppe Akustik, Carl von Ossietzky Universität, D-26111 Oldenburg

## Einleitung

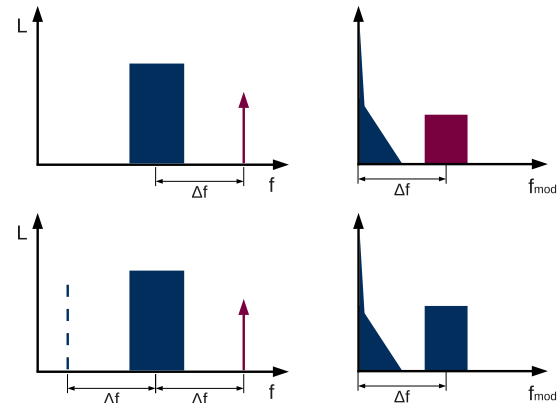
Wird ein tonales Signal, das von einem diotischen Rauschen verdeckt wird, interaural phasenverschoben ( $N_0S_\pi$ ), so ergibt sich eine wesentlich niedrigere Mithörschwelle im Vergleich zu einem Signal ohne interauralen Phasenunterschied ( $N_0S_0$ ). Dieser binaurale Gewinn in der Schwelle (Binaural masking level difference, BMLD) ist am größten, wenn das Signal spektral innerhalb des Verdeckers liegt und nimmt mit zunehmenden spektralen Abstand zwischen beiden schnell ab [1].

Als Grund für diese Reduktion der BMLD bei spektral nicht überlappenden Signal und Verdeckter wurde eine unterschiedliche Verarbeitung von Pegelschwankungen bei der monauralen und binauralen Verarbeitung diskutiert [2, 3]. Diese Pegelschwankungen treten durch die Schwebung zwischen Signal und Verdeckter auf (siehe obere Teilbilder in Abbildung 1), die insbesondere bei der monauralen Verarbeitung genutzt werden, wohingegen binaurale Verarbeitung die zusätzliche Modulationsinformation nicht nutzen können.

In diesem Beitrag soll diese Hypothese auf Basis unterschiedlicher monauraler und binauraler Modulationsverarbeitung experimentell getestet werden. Dazu wird in einem Verdeckungsmustereperiment zur Messung des binauralen Gewinns ein zusätzlicher Störton (Interferer) zur Verdeckung der Schwebungsinformationen eingeführt. Die unteren Teilbilder der Abbildung 1 zeigt den Ansatz schematisch. Dort führt ein zusätzlicher Ton (gestrichelte Linie im Teilbild links unten) im Einhüllendenspektrum zu einer Verdeckung der durch die Schwebung von Testsignal und Rauschverdeckter entstandenen Schwebungskomponente (vergleiche oberes und unteres rechtes Teilbild).

## Methode

Es wurden Mithörschwellen des Signals mit und ohne interauralen Phasenunterschied als Funktion des spektralen Abstandes  $\Delta f$  zwischen Verdeckter und Signal mit einem adaptiven 2-Schritt (1up-2down) 3-Intervall Zwangwahlverfahren gemessen. Der Verdeckter war ein 25 Hz breites Schmalbandrauschen mit einer Mittenfrequenz von 700 Hz und einen Pegel von 65 dB SPL. Als Signal wurde ein Sinuston mit Abständen  $\Delta f = -60, -30, 0, 30, 60, 100$  Hz verwendet. Zusätzlich wurde die Schwellen in Anwesenheit des Verdeckters und eines Interferers gemessen. Der Interferer war ein Sinuston mit einem spektralen Abstand von  $-\Delta f$  und einem Pegel um 6 dB niedriger als der Rauschverdeckter. Der Pegel wurde gewählt um eine mögliche (energetische) Verdeckung durch den Interferer



**Abbildung 1:** Oben: Schematische Darstellung der Spektren der Stimuli (linkes Teilbild) und das resultierende Modulationsspektrum (rechtes Teilbild) eines normalen Verdeckungsmustereperiments aus schmalbandigen Rauschverdeckter (blau) und Sinussignal (rot) mit einem spektralen Abstand  $\Delta f$ . Unten: Verdeckungsmustereperiment mit zusätzlichem Interferer (linkes Teilbild, blau gestrichelte Linie). Dieses führt zur Verdeckung der Schwebungskomponente (rechtes).

auszuschließen.

Der Verdeckter, das Signal und der Interferer hatten eine Dauer von 500 ms inklusive 50 ms Hanningfenster. An der Messung haben 8 normalhörende Versuchspersonen im Alter zwischen 20 und 31 Jahren und einem Altersdurchschnitt von 26,5 Jahren teilgenommen.

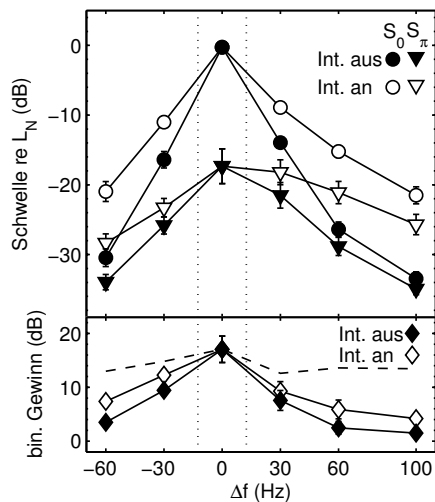
## Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 2 sind die gemittelten monauralen Mithörschwellen mit (offene Symbole) und ohne Interferer (geschlossen Symbole) in Abhängigkeit der spektralen Abstände  $\Delta f$  gezeigt. Das obere Teilbild zeigt die Schwellen als Pegeldifferenz zwischen Ton und Verdeckterauschen für die diotische (Kreise) und die dichotische (Dreiecke) Kondition. Das untere Teilbild zeigt den binauralen Gewinn (BMLD). Die Schwellen ohne Interferer zeigen eine deutliche Verringerung der BMLD mit zunehmenden spektralen Abstand unabhängig davon ob das Signal spektral oberhalb oder unterhalb des Verdeckers angeboten wurde. Die BMLD war bei  $\Delta f = 0$  Hz etwa 17 dB und reduziert sich bei  $\Delta f = \pm 60$  Hz auf unter 2 dB.

Die diotischen Schwellen mit Interferer (offene Symbole) Interferer steigen gegenüber denen ohne Interferer für  $\Delta f > 0$  Hz deutlich an, was darauf hindeutet, dass die Schwebung zur Erkennung des Signals durch den Interferer

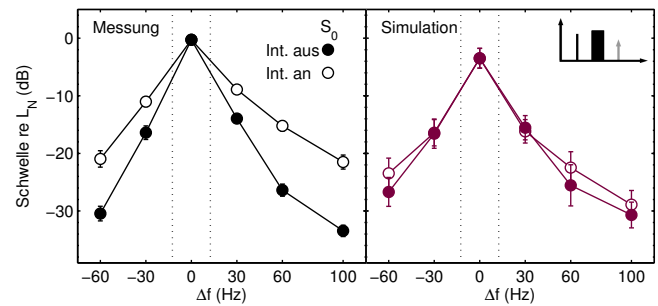
rer erfolgreich verdeckt wurde. Geht man wie [2, 3] davon aus, dass diese Modulationsinformationen rein monaural verarbeitet werden, so müssten der Vergleich dieser Schwellen mit den dichotischen Schwellen ohne Interferer den binauralen Gewinn angeben, der nicht durch Modulationsanalyse verkleinert wurde. In der Tat ist der binaurale Gewinn für diesen Vergleich wie aus dem Modellsimulationen in [3] zu erwarten nahezu konstant (gestrichelte Linie im unteren Teilbild von Abb. 2).

Laut der Hypothese müsste der Interferer auf die dichotischen Schwellen keinen Einfluss haben. Im Gegensatz zu dieser Vorhersage führt die Anwesenheit des Interferers auch bei den dichotischen Schwellen zu einem deutlichen Anstieg. Werden die dichotischen und dichotischen Schwellen mit Interferer zur Berechnung der BMLD herangezogen, so zeigt sich auch hier eine Reduktion der BMLD mit zunehmenden spektralen Abstand von Signal und Rauschverdeckter (durchgezogene Linie mit Symbolen im unteren Teilbild von Abb. 2).



**Abbildung 2:** Oben: Gemittelte Mithörschwellen des Signals ohne (Kreise) und mit interauralen Phasenunterschied (Dreiecke) im Verhältnis zum Verdeckterpegel in Abhängigkeit des spektralen Abstandes zwischen Signal und Verdeckter  $\Delta f$  ohne (geschlossene Symbole) und mit Interferer (offene Symbole). Unten: Aus den Schwellen berechneter binauraler Gewinn. Zusätzlich zeigt die gestrichelte Linie den Gewinn von der monauralen Schwellen mit Interferer zur dichotischen Schwellen ohne Interferer.

Um zu untersuchen, ob dieser Effekt auch modelliert werden kann, wird das Modell in [3] herangezogen und in einer Modellvariation um eine frequenzübergreifenden Modulationsverarbeitungsstufe erweitert. Es wird nur der Effekt des Interferers auf die dichotischen Schwellen simuliert. Die simulierten dichotischen Schwellen ändern sich wegen fehlender binauraler Modulationsanalyse nicht (nicht gezeigt). Das Modell in [3] basiert auf einem Modell mit Modulationsfilterbank für die monaurale Verarbeitung. Zur Simulation der frequenzübergreifenden Modulationswahrnehmung wurde eine zusätzliche Stufe basierend auf den (dort einkanaligen) Ansatz von Piechowiak et al. (2007) und auf eine mehrkanalige Verarbeitung erweitert. Die Modellvorhersagen sind im Vergleich zu den gemessenen monauralen Schwellen in Abbildung 3 dar-



**Abbildung 3:** Links: Gemittelte Mithörschwellen ohne (geschlossene Symbole) und mit Interferer (offene Symbole) in relation zum Verdeckterpegel in Abhängigkeit von  $\Delta f$ . Rechts: Simulierte Schwellen in Abhängigkeit von  $\Delta f$

gestellt. Die gemessenen Schwellen ohne Interferer konnten vom Modell gut vorhergesagt werden, allerdings nur eingeschränkt wenn der Interferer anwesend war. Bei anwesendem Interferer zeigen die simulierten Daten somit nur einen kleinen Effekt, der deutlich geringer als der gemessene Effekt ist. Besonders bei  $\Delta f = 30$  Hz ist Unterschied zur Schwellen ohne Interferer deutlich. Die Vorhersagen deuten darauf hin, dass der verwendete Modellansatz zu frequenzübergreifenden Modulationsverarbeitung nicht realistisch ist.

Die Ergebnisse unterstützen die gestellte Hypothese nur teilweise, da auch ein Anstieg der dichotischen Schwellen mit Interferer zu beobachten ist. Das lässt darauf schließen, dass auch in der dichotischen Kontition Schwebungsinformationen genutzt werden können, die nach Einschalten des Interferers verdeckt werden. Die Reduzierung der BMLD hier scheint aufgrund effektiv breitere binaurale Filter aufzutreten. Der Unterschied in den Steigungen der dichotischen und dichotischen Schwellen mit Interferer hat den Faktor 1,8 und ist in guter Übereinstimmung mit den auf Basis von notched noise Experimenten gefundenen effektiv breiteren binauralen Filtern aus [5].

## Literatur

- [1] Henning, B., Zwicker, E.: Effects of the bandwidth and level of noise and of the duration of the signal on binaural masking-level differences *Hearing Research* 14 (1984), 175-178
- [2] Buss, E., Hall, J.W.: The role of off-frequency masking in binaural hearing *J. Acoust. Soc. Am.* 127 (2010), 3666-3677
- [3] Nitschmann, M., Verhey J.L.: Modulation cues influence binaural masking-level difference in masking-pattern experiments *J. Acoust. Soc. Am.* 131 (2012), EL223-EL228
- [4] Piechowiak, T., Ewert, S.D., Dau, T.: Modeling comodulation masking release using an equalization-cancellation mechanism *J. Acoust. Soc. Am.* 121 (2007), 2111-2126
- [5] Nitschmann, M., Verhey J.L., Kollmeier, B.: The role of across-frequency processes in dichotic listening conditions *J. Acoust. Soc. Am.* 126 (2009), 3188-3198