

Binaurale Verdeckungsmuster

Marc Nitschmann¹, Jesko L. Verhey²

Abteilung Experimentelle Audiologie, Otto-von-Guericke-Universität, Leipziger Str. 44, 39120 Magdeburg

¹ E-Mail: marc.nitschmann@med.ovgu.de ² E-Mail: jesko.verhey@med.ovgu.de

Einleitung

In einem Audiogramm werden Hörschwellen für Sinustöne verschiedener Frequenzen gemessen. Ein Versuch, in dem Mithörschwellen für Sinustöne verschiedener Frequenzen in Gegenwart eines Verdeckers fester Frequenz gemessen werden, wird als Verdeckungsaudiogramm (*masking audiogram*, [1]) oder üblicher als Verdeckungsmuster (*masking pattern*, [2]) bezeichnet.

Zwicker & Henning [3] kombinierten dieses Versuchsparadigma mit interauralen Unterschieden in den Stimuli, indem sie unter anderem Mithörschwellen für interaural gleichphasige oder gegenphasige Sinustöne in einem auf beiden Ohren gleichen Rauschverdecker gemessen haben.

In diesem Beitrag werden Messdaten vorgestellt, die bei der Verdeckermittelfrequenz 250 Hz die Daten von Zwicker & Henning in einem Forced-Choice-Verfahren nachmessen und um die Verdeckermittelfrequenz 500 Hz erweitern. Zudem werden die in dieser Messung erhobenen Schwellen im Rahmen von Simulationen mit einem binauralen Perzeptionsmodell diskutiert.

Stimuli

Die Rauschverdecker wurden im Frequenzbereich erzeugt, hatten Mittenfrequenzen f_c von 250 oder 500 Hz und Bandbreiten Δf von 10 oder 100 Hz und wurden stets diotisch dargeboten. Ihre spektrale Leistungsdichte war 50 dB SPL/Hz. Signale waren interaural gleichphasige (So) oder gegenphasige ($S\pi$) Sinustöne der Frequenzen 160, 190, 220, 250, 280, 310 oder 340 Hz bei $f_c = 250$ Hz und 410, 440, 470, 500, 530, 560 oder 590 Hz bei $f_c = 500$ Hz.

Messablauf

Die Schwellen wurden in einem 3-Intervall-Forced-Choice-Verfahren ermittelt. Der Verdecker wurde in einem Trial durchgehend 2,9 s lang dargeboten. Auf dem Bildschirm wurden der Versuchsperson drei 300 ms lange Zeitintervalle mit dazwischenliegenden Pausen von 300 ms angezeigt. Die Intervalle waren im Verdecker zeitlich zentriert. Die Darbietung des Signals erfolgte in einem zufällig ausgewählten Intervall, das von der Versuchsperson benannt werden sollte. Signal und Verdecker wurden mit 50 ms langen Hann-Fenstern ein- und ausgeblendet.

Der Signalpegel wurde nach zwei aufeinander folgenden richtigen Antworten erniedrigt und sonst erhöht (1-up-2-down-Verfahren). Der Anfangspegel des Signals war deutlich überschwellig. Die Pegelschrittweite betrug an-

fangs 8 dB. Sie wurde nach jedem oberen Umkehrpunkt bis zu einer Schrittweite von 1 dB halbiert. Die Schwelle wurde als der arithmetische Mittelwert der danach gemessenen sechs Umkehrpunkte definiert.

Die Stimuli wurden in einer doppelwandigen, schallisolierten Kabine über Kopfhörer (Sennheiser HD 580) dargeboten. Teile der gezeigten Daten wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit [4] an der Universität Oldenburg erhoben.

Fünf normalhörende (max. 10 dB HL) Versuchspersonen im Alter von 18 bis 30 Jahren (Mittelwert 24 Jahre) nahmen an den Versuchen teil.

Ergebnisse

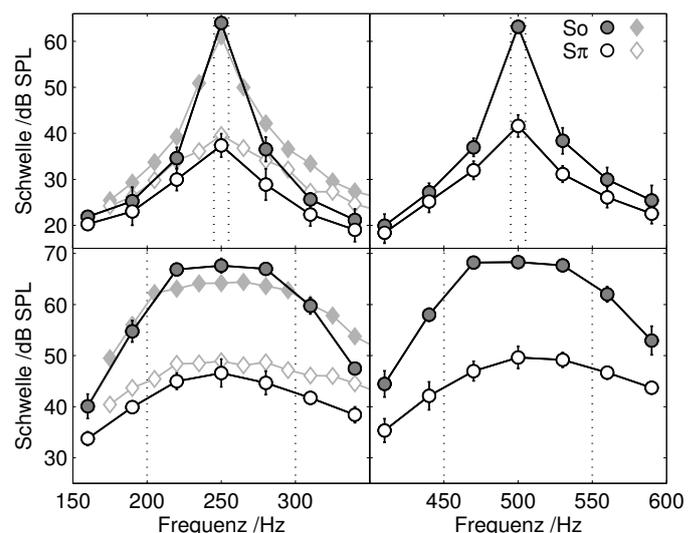


Abbildung 1: Mithörschwellen für Sinustöne So (graue Symbole) und $S\pi$ (weiße Symbole) als Funktion der Frequenz. Verdeckermittelfrequenzen 250 Hz (links) und 500 Hz (rechts), Verdeckermittelfrequenzen 10 Hz (oben) und 100 Hz (unten). Die gepunkteten Linien geben die Grenzen des Verdeckerspektrums an. Eigene Daten sind mit Kreisen dargestellt; die mit Rauten dargestellten Schwellen sind Mittelwerte der Daten von Zwicker & Henning. Fehlerbalken (nur bei den eigenen Daten) zeigen plus minus eine interindividuelle Standardabweichung an.

Abb. 1 zeigt Detektionsschwellen für Sinustöne als Funktion der Frequenz. Die mit Rauten dargestellten Daten sind Mittelwerte über die bei Zwicker & Henning für die spektralen Leistungsdichten 40 und 60 dB SPL/Hz ermittelten Schwellen. Die eigenen Daten zeigen ein ähnliches Verhalten wie die aus der Literatur entnommenen: Der binaurale Gewinn (Differenz der So- und $S\pi$ -Schwellen bei derselben Frequenz) fällt besonders im Fall des 10 Hz

breiten Verdeckers stark ab, sobald die Signalfrequenz außerhalb des Verdeckerspektrums liegt. Abgesehen von den Schwellen bei $f_c = 250$ Hz und $\Delta f = 10$ Hz fallen die Schwellen zu den hohen Frequenzen hin flacher ab als zu den tiefen. Die interindividuellen Schwellenunterschiede, erkennbar an den Fehlerbalken, sind bei den So-Schwellen innerhalb des Verdeckerspektrums am kleinsten.

Simulationen

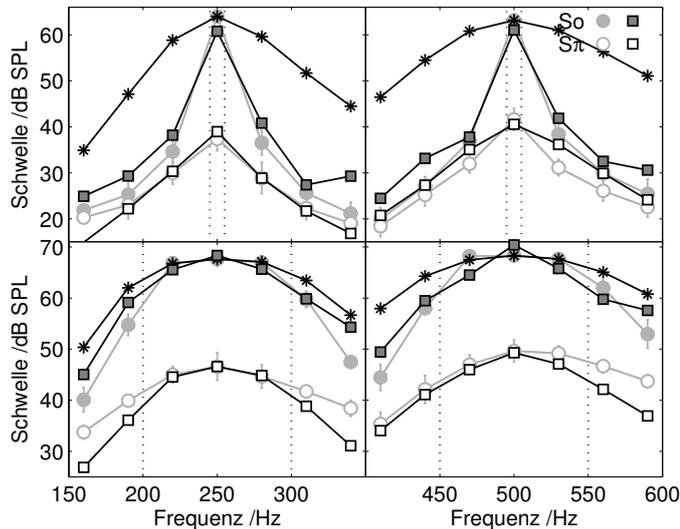


Abbildung 2: Mithörschwellen für Sinustöne So (graue Symbole) und $S\pi$ (weiße Symbole) als Funktion der Frequenz. Eigene Messergebnisse aus Abb. 1 sind mit Kreisen dargestellt, im Modell simulierte Schwellen mit Quadraten. Die Sterne zeigen die in einem Filter an der Signalfrequenz aufintegrierte Verdeckerenergie an.

Abb. 2 zeigt die eigenen Messdaten aus Abb. 1 (Kreise) und Simulationsergebnisse (Quadrate). Der Abfall der So-Schwellen übersteigt die Vorhersage einer einfachen Integration über die Verdeckerenergie im Filter an der Signalfrequenz (Sterne in Abb. 2) deutlich. Derleth & Dau [5] haben gezeigt, dass dieser steile Abfall mit einer Modulationsfilterbank [6] simuliert werden kann. Das für die Simulation verwendete Modell basiert auf dem effektiven binauralen Perzeptionsmodell von Zerbis [7] mit der Ergänzung der monauralen Stufe um eine Modulationsfilterbank [6]. Für die Simulation der Außen- und Mittelohrfilterung wurde ein Bandpass 1. Ordnung mit den Grenzfrequenzen 500 Hz und 5,3 kHz verwendet. Es wurde eine Filterbank aus 1 ERB breiten Gammatonfiltern 4. Ordnung von 100–400 Hz ($f_c = 250$ Hz) bzw. 200–800 Hz ($f_c = 500$ Hz) mit zwei Filtern pro ERB verwendet. Der Pegel des hörschwellensimulierenden, interaural unkorrelierten Rauschens nach der Filterbank betrug 7 dB SPL. Die Mittenfrequenzen der Modulationsfilter lagen unterhalb der Hälfte der Mittenfrequenz des jeweiligen Gammatonfilters. Die maximale Modulationsmittenfrequenz war somit durch die höchsten vorkommenden Signalfrequenzen bestimmt. Bedingt durch feste Mittenfrequenzen der Modulationsfilter lag die höchste verwendete Mittenfrequenz bei 129 Hz ($f_c = 250$ Hz) bzw. 214 Hz ($f_c = 500$ Hz). Jede Schwellensimulation in

Abb. 2 ist der Mittelwert über drei Wiederholungen.

Die relativ schlechte Vorhersage der So-Schwelle bei der jeweils höchsten Signalfrequenz liegt wahrscheinlich daran, dass der höchste Modulationsfilter deutlich unterhalb der Hälfte dieser Frequenz liegt. Die besonders bei $\Delta f = 100$ Hz für $S\pi$ -Schwellen außerhalb des Verdeckerspektrums zu niedrig vorhergesagten Werte gehen möglicherweise darauf zurück, dass die Breite der auditorischen Filter in der monauralen und binauralen Verarbeitung nicht unbedingt als gleich angesehen werden kann [8].

Zusammenfassung

- Der binaurale Gewinn in einem Verdeckungsmuster nimmt, sobald das Signal außerhalb des Verdeckerspektrums liegt, vor allem durch den Abfall der So-Schwellen, stark ab.
- Bisherige binaurale Modelle können diesen Verlauf des binauralen Gewinns nicht vorhersagen.
- Durch die Verwendung einer Modulationsfilterbank für die So-Schwellen kann ein Teil der Reduktion des binauralen Gewinns vorhergesagt werden.

Literatur

- [1] Fletcher, H., & Munson, W. A.: Relation between loudness and masking, *J. Acoust. Soc. Am.* 9, 1–10 (1937).
- [2] Egan, J. P., & Hake, H. W.: On the masking pattern of a simple auditory stimulus, *J. Acoust. Soc. Am.* 22, 622–630 (1950).
- [3] Zwicker, E., & Henning, G. B.: Binaural masking-level differences with tones masked by noises of various bandwidths and levels, *Hear. Res.* 14, 179–183 (1984).
- [4] Yango, A.: Psychoacoustics of binaural spectral masking patterns, Bachelorarbeit, Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, Oldenburg, 2007.
- [5] Derleth, R. P., & Dau, T.: On the role of envelope fluctuation processing in spectral masking, *J. Acoust. Soc. Am.* 108, 285–296 (2000).
- [6] Dau, T., Kollmeier, B., & Kohlrausch, A.: Modeling auditory processing of amplitude modulation. I. Detection and masking with narrow-band carriers, *J. Acoust. Soc. Am.* 102, 2892–2905 (1997).
- [7] Zerbis, C.: Modelling the effective binaural signal processing in the auditory system, Dissertation, Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, Herbert Utz Verlag, München, 2000.
- [8] Nitschmann, M., Verhey, J. L., & Kollmeier, B.: The role of across-frequency processes in dichotic listening conditions, *J. Acoust. Soc. Am.* 126, 3188–3198 (2009).