

Diskrimination interauraler Phasenunterschiede von durch Bandstoprauschen verdeckten Sinustönen

Marc Nitschmann¹, Jesko L. Verhey²

Abteilung für 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

Die spektrale Zerlegung eines akustischen Ereignisses in verschiedene Frequenzgruppen ist eine fundamentale Eigenschaft der Gehörs. Der klassische psychoakustische Versuch zur Bestimmung der Frequenzgruppenbreite ist das Bandstopexperiment [1, 2], ein Detektionsversuch, bei dem Schwellen für Sinustöne ermittelt werden, die von einem Rauschen mit spektraler Lücke (Bandstoprauschen) verdeckt sind. Bei Verwendung von interaural gegenphasigen (S_π) anstelle von gleichphasigen (S_0) Sinustönen in einem auf beiden Ohren identischen Rauschverdeckter (N_0) wurden effektiv größere, sogenannte „binaurale“ Frequenzgruppenbreiten gemessen [3, 4, 5], deren Größe allerdings vom Versuch und in geringerem Maße auch von der Auswertemethode abhängt. Zur Erklärung dieser Ergebnisse werden verschiedene frequenzgruppenübergreifende Prozesse diskutiert [6]. Im Bandstopexperiment ergibt sich eine binaural (N_0S_π) effektiv nur geringfügig größere Frequenzgruppenbreite als monaural (N_0S_0) [4, 5, 7]. In Ergänzung zum Bandstopexperiment (N_0S_0 - und N_0S_π -Schwellen) wird in diesem Beitrag ein Versuch mit einem *überschwelligem* Sinustonpegel, nämlich ein binauraler Diskriminationsversuch mit einem Bandstoprauschverdeckter vorgestellt. Im Rahmen von Diskussion und Simulation wird auf den binauralen Gewinn (*binaural masking-level difference (BMLD)*, Differenz der N_0S_0 - und N_0S_π -Detektionsschwellen) im Detektionsversuch und dessen Modellierung Bezug genommen.

Stimuli und Messablauf

Die Diskriminationsschwellen wurden in einem 3-Interval-3-Alternative-Forced-Choice-Verfahren gemessen. Der 600 ms lange Bandstopverdeckter wurde in einem Trial dreimal mit jeweils 300 ms Pause dargeboten. Für jedes Trial wurde im Frequenzbereich ein neuer Verdeckter mit konstanter Amplitude und zufälliger Phase generiert. Der Verdeckter hatte eine konstante spektrale Leistungsdichte von 30 dB/Hz. Sein Spektrum reichte von 30 Hz bis 1000 Hz. Arithmetisch zentriert um 500 Hz lag eine spektrale Lücke, deren Breite 0, 50, 100, 200, 400 oder 800 Hz betrug. Zeitlich zentriert in jedem Verdeckterintervall befand sich ein 300 ms langer Sinuston der Frequenz 500 Hz. Der Pegel des Sinustons lag 3 dB über der zuvor im Bandstop-Detektionsversuch ermittelten individuellen N_0S_0 -Schwelle bei der jeweiligen Lückenbreite. Verdeckterintervalle und Sinustöne wurden mit 50 ms langen Hann-Fenstern ein- und ausgeblendet. Von den drei Sinustönen eines Trials waren zwei auf beiden Ohren

identisch (S_0), und ein zufällig ausgewähltes Zielintervall enthielt einen Sinuston mit einer von 0 verschiedenen interauralen Phasendifferenz (IPD). Die Versuchsperson erhielt nach jedem Trial eine Rückmeldung (*richtig* oder *falsch*) hinsichtlich ihrer Antwort. Der adaptiv veränderte Parameter war $p = \log_{10}(\text{IPD}/360^\circ)$ (vgl. [8]). Dieser Parameter wurde in einem 1-up-2-down-Verfahren eingeregelt. Zu Beginn jedes Messdurchgangs betrug die IPD des Zielintervalls 180° (S_π) und die Schrittweite des adaptiv veränderten Parameters 0,2. Die Schrittweite wurde nach jedem unteren Umkehrpunkt halbiert bis die Schrittweite von 0,05 erreicht war. Mit dieser Schrittweite wurden dann noch acht weitere Umkehrpunkte gemessen, aus deren Mittelwert \bar{p} mit $360^\circ 10^{\bar{p}}$ ein Schätzwert für den gerade wahrnehmbaren Unterschied (*just noticeable difference, jnd*) in der IPD errechnet wurde. Für jede Lückenbreite wurde die jnd mindestens dreimal gemessen und der Mittelwert der sich bei den Einzelmessungen ergebenden Parameter \bar{p} errechnet. Diese Parameter wurden über die vier normalhörenden Versuchspersonen (alle männlich; 31, 33, 33, 39 Jahre) gemittelt und in IPD umgerechnet. Ein Messdurchgang wurde abgebrochen und verworfen, wenn insgesamt dreimal bei einem Zielintervall mit IPD 180° (S_π) falsch geantwortet wurde. Dies war fast ausschließlich bei der Lückenbreite von 800 Hz der Fall: Die vier Versuchspersonen benötigten bei dieser Lückenbreite insgesamt 45 Messdurchgänge, um je drei Messdurchgänge erfolgreich abzuschließen.

Ergebnisse und Diskussion

Abb. 1 zeigt mit Quadraten den über die vier Versuchspersonen gemittelten gerade wahrnehmbaren Unterschied in der IPD (IPDjnd). Die IPDjnd liegt im Breitbandverdeckter mit Lücken bis zu 100 Hz bei etwa 20° und steigt für die Lückenbreiten 200, 400 und 800 Hz auf Werte von 40° , 67° und 99° an. Die Fehlerbalken geben plus/minus eine Standardabweichung des Parameters \bar{p} über die Versuchspersonen umgerechnet in IPD an. Das untere Teilbild von Abb. 1 zeigt mit offenen Rauten den über dieselben Versuchspersonen gemittelten binauralen Gewinn im Bandstopexperiment. Die Fehlerbalken zeigen plus/minus die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der interindividuellen Standardabweichungen der N_0S_0 - und N_0S_π -Schwellen. Die gefüllten Symbole zeigen den bei der jeweiligen IPDjnd verbleibenden Anteil des binauralen Gewinns. Dabei wird angenommen, dass der Anteil des binauralen Gewinns eine lineare Funktion der IPD ist (offene Rauten bei IPD = 180° , 0 dB bei IPD = 0°). Es ergeben sich für Lückenbreiten bis 400 Hz

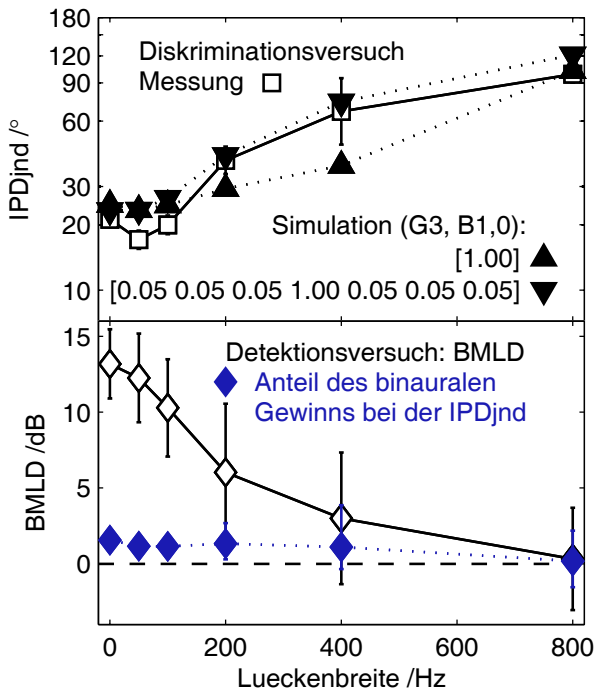


Abbildung 1: Gemessene IPDjnd im Diskriminationsversuch mit S_0 -Referenz (Quadrate) und binauraler Gewinn im Bandstopexperiment (offene Rauten) als Funktion der Lückenbreite eines Bandstopverdeckers. Die gefüllten Rauten zeigen den Anteil des binauralen Gewinns, der sich bei der jeweiligen gemessenen IPDjnd ergibt. Die Dreiecke zeigen die Simulation des Diskriminationsversuchs mit einem effektiven binauralen Modell nach [9]. Die Simulationsdaten unterscheiden sich nur hinsichtlich der im Modell verwendeten Frequenzauflösung (Details siehe Text).

Werte zwischen 1,6 und 1,1 dB (Mittelwert 1,3 dB). Der Wert bei der Lückenbreite 800 Hz ist wegen des binauralen Gewinns nahe 0 dB und aufgrund der schwierigen Messung wenig aussagekräftig. Der über die Lückenbreiten weitgehend konstante Anteil des binauralen Gewinns bei der IPDjnd kann ein Hinweis darauf sein, dass für die Schwelle vielleicht die durch die IPD verbesserte Hörbarkeit des Zielsinustons entscheidend war, letztlich also eigentlich ein *Detektionsversuch* vorlag.

Simulation

Der Diskriminationsversuch wurde mit einem binauralen Modell auf Basis von [9] simuliert. Im folgenden werden nur die Unterschiede dargelegt: Die Simulation des Außen- und Mittelohrs wurde durch einen Bandpassfilter 1. Ordnung (500–5300 Hz) modelliert. Es folgte ein bei 500 Hz zentrierter 1 ERB (*equivalent rectangular bandwidth*) breiter Gammatonfilter 3. Ordnung (in Abb. 1 durch G3, B1,0 vermerkt). Die Filterparameter wurden an die N_0S_0 -Schwellen im Bandstopexperiment angepasst. Zur Modellierung der Ruhehörschwelle wurden 7 dB SPL weißen Rauschens addiert; nach der Halbwellengleichrichtung und Tiefpassfilterung erfolgte in der binauralen Verarbeitung eine weitere Addition des Betrags von weißem Rauschen (2 dB SPL). Mit diesem Modell war eine Simulation in guter Übereinstimmung mit

den gemessenen N_0S_0 -Detektionsschwellen im Bandstopexperiment möglich, wenn nach der Halbwellengleichrichtung und Tiefpassfilterung geringe Anteile (0,05) dreier weiterer Gammatonfilter unterhalb und oberhalb von 500 Hz mit Mittenfrequenzen in ERB-Abstand zu dem Filter an der Signalfrequenz gemischt wurden (in Abb. 1 durch [0.05 0.05 0.05 1.00 0.05 0.05 0.05] bezeichnet). Diese Konstellation ergibt auch im Diskriminationsversuch das bessere Simulationsergebnis (nach unten zeigende Dreiecke in Abb. 1). Zum Vergleich dazu sind auch die Simulationsergebnisse mit einem Modell, das nur den Inhalt eines Gammatonfilters verwendet, dargestellt (nach oben zeigende Dreiecke und [1.00] in Abb. 1).

Zusammenfassung

- Spektrale Nähe eines diotischen Verdeckers verbessert die IPD-Diskrimination.
- N_0S_0 -Detektionsschwellen und IPD-Diskriminationsschwellen weisen auf eine effektiv geringfügig größere binaurale Filterbreite hin.

Literatur

- [1] de Boer, E., & Bos, C. E.: On the concept of the critical band. 4th Int. Congr. Acoust., Copenhagen, H13, 1–4 (1962).
- [2] Patterson, R. D.: Auditory filter shapes derived with noise stimuli. *J. Acoust. Soc. Am.* 59, 640–654 (1976).
- [3] Bourbon, W. T., & Jeffress, L. A.: Effect of bandwidth of masking noise on detection of homophasic and antiphasic tonal signals. *J. Acoust. Soc. Am.* 37, 1180–1181 (1965).
- [4] Hall, J. W., Tyler, R. S., & Fernandes, M. A.: Monaural and binaural auditory frequency resolution measured using bandlimited noise and notched-noise masking. *J. Acoust. Soc. Am.* 73, 894–898 (1983).
- [5] Nitschmann, M., Verhey, J. L., & Kollmeier, B.: Monaural and binaural frequency selectivity in hearing-impaired subjects. *Int. J. Audiol.* 49, 357–367 (2010).
- [6] 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).
- [7] Nitschmann, M., & Verhey, J. L.: Experimente und Modellrechnungen zur binauralen spektralen Selektivität. *Fortschritte der Akustik, DAGA 2007*, 371–372.
- [8] Saberi, K.: Some considerations on the use of adaptive methods for estimating interaural-delay thresholds. *J. Acoust. Soc. Am.* 98, 1803–1806 (1995).
- [9] Zerbs, C.: Modelling the effective binaural signal processing in the auditory system. Dissertation, Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg. Herbert Utz Verlag, München (2000).