

## Binaurale Tonhaltigkeit

Jesko L. Verhey<sup>1,2</sup>, Sarah Stefanowicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Physik, Carl von Ossietzky Universität, 26111 Oldenburg, Deutschland*

<sup>2</sup> *Exp. Audiologie, Otto-von-Guericke Universität, 39120 Magdeburg, Deutschland, Email: jesko.verhey@med.ovgu.de*

### Einleitung

Technische Geräusche enthalten häufig tonale Komponenten, die in einem rauschhaften Hintergrund eingebettet sind. Die Tonhaltigkeit beschreibt die Empfindung dieser tonalen Komponenten. In der DIN 45681 [1] wird die Tonhaltigkeit durch den Pegel der tonalen Komponenten  $L_T$  im kritischen Band an der Frequenz der tonalen Komponente relativ zum Pegel des Rauschens im kritischen Band  $L_G$  bestimmt, wobei die Mithörschwelle durch das Verdeckungsmaß  $a_V$  berücksichtigt wird.

$$\Delta L = L_T - L_G - a_V \quad (1)$$

Aus diesem  $\Delta L$  wird in der Norm ein Tonzuschlag abgeleitet, der den unangenehmen Charakter von Schallen mit tonalen Komponenten Rechnung trägt.

Im vorliegenden Beitrag wird untersucht, wie sich die Tonhaltigkeit ändert, wenn die tonale Komponente nicht aus der gleichen Richtung wie der Rauschhintergrund kommt. Hierzu wird die Tonhaltigkeit eines dichotischen dargebotenen Tones in einem diotischen Hintergrund an die eines Tones im Rauschen angeglichen, bei der sowohl der tonale Vordergrund als auch der rauschhafte Hintergrund diotisch dargeboten werden. Zusätzlich werden die tonalen Anteile der beiden Geräusche auf gleiche Lautheit eingestellt. Aus der Literatur ist bekannt, dass die Mithörschwelle bei dichotischer Präsentation deutlich niedriger als bei der diotischen Präsentation ist. Der vorliegende Beitrag untersucht, inwieweit dieser als binauraler Gewinn (engl. Binaural masking level difference, BMLD) bekannte Effekt sich auch in der Tonhaltigkeit und Teillautheit eines überschwelligen Tones im Störgeräusch widerspiegelt.

### Methode

Zur Bestimmung der Abhängigkeit der Tonhaltigkeit bzw. Teillautheit des Tones von der Art der binauralen Präsentation (diotisch oder dichotisch) wurde mit Hilfe eines adaptiven 1-Schritt (1up-1down) 2-Intervall-Zwangwahlverfahren derjenige Tonpegel bestimmt, bei dem der diotisch präsentierte Ton im diotischen Rauschen  $[S_0N_0]$  die gleiche Tonhaltigkeit bzw. die gleiche (Teil-)Lautheit hervorruft wie ein gegenphasiger (dichotischer) Ton im diotischen Rauschen  $[S_\pi N_0]$ . Das Rauschen war ein 700ms langes (inklusive 50ms Rampen) bandbegrenztes weißes Rauschen (250–4000Hz) mit einem Pegel von 65dB SPL. Die Frequenz des Tones war 500Hz und seine Dauer war 600ms inklusive 50ms Rampen. Der Ton war zeitlich im Rauschen zentriert. Der Pegel gleicher Tonhaltigkeit oder Lautheit wurde für die Pegel 3, 6, 9,

12 und 18dB über der individuellen Mithörschwelle des Tones bestimmt. Um mögliche Bias-Effekte zu vermeiden wurden insgesamt 10 adaptive Messungen gleichzeitig verwürfelt (engl. interleaved) durchgeführt (siehe z.B. [2]). Von diesen 10 Messungen war für 5 Messungen der Pegel des diotischen Tons im Rauschen fest, während der Pegel des dichotischen Tons im Rauschen variiert wurde. In den anderen 5 Messungen war die Rolle von fester Referenz und Testintervall mit variablem Tonpegel vertauscht. Messung wurde viermal wiederholt. Als Maß für die Tonhaltigkeit oder Lautheit wurde der Mittelwert aus den vier Einzelergebnisse für die Versuchsperson genommen.

Zuvor wurde für jede Versuchsperson die individuelle Mithörschwelle des Tones für die beiden Rauschtypen mit einem 3-Intervall-Zwangwahlverfahren ermittelt. Diese Messung wurde bis zu achtmal wiederholte. Als Maß für die Mithörschwelle wurde der Mittelwert der Ergebnisse der letzten vier Wiederholungen der Mithörschwellenmessung genommen.

Zehn normalhörende Versuchspersonen (3 weiblich, 7 männlich) im Alter von 20 bis 28 Jahren (Mittelwert 24,8 Jahre) nahmen an dem Versuch teil. Die Stimuli wurde über Kopfhörer in einer doppelwandigen Hörkabine dargeboten.

### Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die über die 10 Versuchspersonen gemittelten Pegel gleicher Tonhaltigkeit (Kreise) bzw. Lautheit (Quadrate) für den gegenphasig dargebotenen Ton im diotischen Rauschen als Funktion des Pegels des diotisch dargebotenen Tones. Die Daten mit einem vorgegebenen diotischen Tonpegel sind mit geschlossenen Symbolen gekennzeichnet, die mit dem gegenphasig dargebotenen Ton als Referenz mit offenen Symbolen. Zusätzlich ist die Mithörschwelle mit einem Kreuz gekennzeichnet. Das obere Teilbild zeigt die Daten relativ zu dieser Mithörschwelle. Das untere Teilbild zeigt die Daten als physikalischer Pegel des Tones. Die hier nicht gezeigten Daten der einzelnen Versuchspersonen weisen individuelle Unterschiede in den Mithörschwellen auf. Die Trends entsprechen aber denen, die in den Mittelwerten zu finden sind.

Die Mithörschwelle im diotischen Fall ( $S_0N_0$ ) bei etwa 42 dB SPL, während die Schwelle bei der gegenphasigen Tondarbietung ( $S_\pi N_0$ ) nur etwa 30 dB SPL liegt (siehe unteres Teilbild der Abbildung 1). Dieser als binauraler Gewinn bekannte Effekt setzt sich auch in der überschwelligen Wahrnehmung des Tones fort.

Hierbei sind die Pegel gleicher Lautheit und die Pegel gleicher Tonhaltigkeit sehr ähnlich. Für kleine Pegel über der Mithörschwelle wird eine gleiche Empfindungsstärke (Lautheit des tonalen Anteils oder Tonhaltigkeit) bei gleichem Pegel über der Mithörschwelle erreicht, während bei hohen Pegeln die Pegel gleicher Empfindungsstärke deutlich von denen gleichen Pegels über der Mithörschwelle abweichen (siehe oberes Teilbild der Abbildung 1). Hier zeigt sich eine asymptotische Annäherung an die Situation, dass der gleiche physikalische Pegel (in dB SPL) die gleiche Empfindungsstärke hervorruft (siehe unteres Teilbild der Abbildung 1).

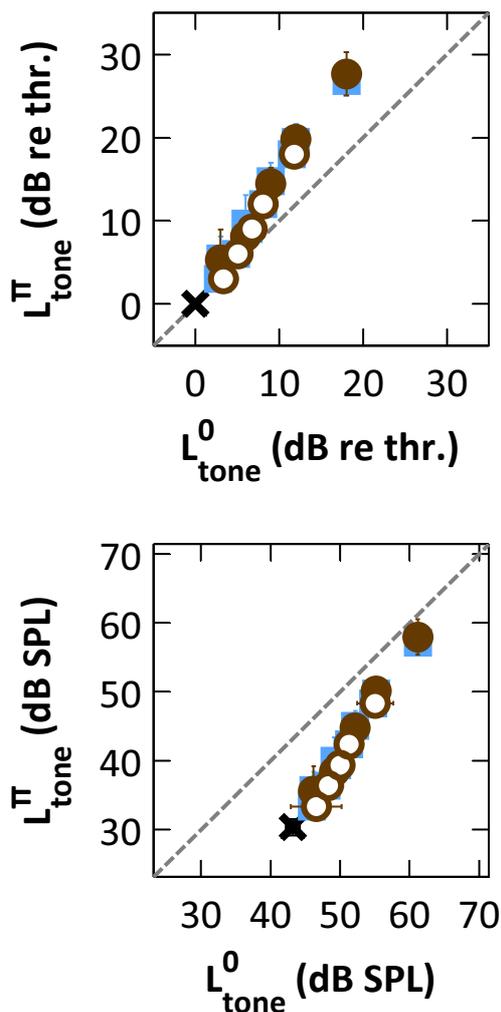


Abbildung 1: Gemittelte Daten aller Versuchspersonen: Aufgetragen ist der Pegel gleich empfundener Tonhaltigkeit (Kreise) bzw. Lautheit (Quadrate) des dichotisch dargebotenen Tones im dichotischen Rauschen über den Tonpegel bei dichotischer Präsentation vom tonalen Vordergrund und rauschhaften Hintergrund. Die offenen Symbole kennzeichnen die Daten mit einer dichotischen Referenz und die geschlossenen Symbole die Daten für eine dichotische Referenz. Zusätzlich ist die Mithörschwelle eingezeichnet (Kreuz).

## Diskussion

Die vorliegenden Daten zeigen, dass die Tonhaltigkeit eines Tones in Rauschen sich ändert, wenn durch Einführung einer interauralen Phasendifferenz von  $\pi$  die Mithörschwelle abgesenkt wird. Ein vergleichbares Ergebnis wurde auf der letzten DAGA für eine Absenkung der Schwelle durch (Ko)modulation des rauschhaften Hintergrundes gefunden [3].

Ein Möglichkeit zur Erweiterung der DIN 45681 auf diese Konditionen mit einer Verminderung der Mithörschwelle (durch binaurale Unterschiede oder Komodulation) bietet die Anpassung des Verdeckungsmaßes  $a_V$  an. Dieser Ansatz führt für kleine Pegel über der Mithörschwelle ( $\leq 9$  dB) zu einer akzeptablen Näherung an die Daten (siehe oberes Teilbild von Abbildung 1). Für sehr hohe Tonpegel ( $\Delta L > 20$  dB) darf  $a_V$  jedoch nicht angepasst werden, da sonst die Tonhaltigkeit (in dB) um den Schwellenunterschied überschätzt wird.

Die gute Übereinstimmung von den Pegeln gleicher Lautheit des Tones und den Pegeln gleicher Tonhaltigkeit zeigen, dass zur Berechnung der Tonhaltigkeit über den gesamten Tonpegelbereich eventuell ein Lautheitsmodell genutzt werden könnte. Da den Versuchspersonen die Frage nach der Lautheit des tonalen Anteils eingängiger war als die nach der Tonhaltigkeit könnte die gute Übereinstimmung der Daten auch die experimentelle Erfassung der Tonhaltigkeit erleichtern.

## Zusammenfassung

Die Tonhaltigkeit beschreibt die Stärke der Empfindung des tonalen Anteils eines Schalles in einem rauschhaften Hintergrund. Kommen der tonale Vordergrund und rauschhafter Hintergrund aus unterschiedlichen Richtungen muß der binaurale Gewinn auch bei der Tonhaltigkeit, also bei der überschwelligen Wahrnehmung des tonalen Anteils, berücksichtigt werden. Die Ähnlichkeit der Messergebnisse für die Tonhaltigkeit und die Lautheit des tonalen Anteils deuten darauf hin, dass die beiden Größen eine vergleichbare Empfindung beschreiben.

## Literatur

- [1] DIN 45681 Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin (2005).
- [2] Buus, S., Florentine, M., Poulsen, T.: Temporal integration of loudness, loudness discrimination, and the form of the loudness function. *Journal of the Acoustical Society of America* 101 (1997), 669–680
- [3] Verhey, J.L., Heise, S.J.: Einfluss der Zeitstruktur des Hintergrundes auf die Tonhaltigkeit und Lautheit des tonalen Vordergrundes. *Fortschritte der Akustik, DAGA 2011* (2011)