

Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Bandpassrauschsignalen

Jesko L. Verhey^{1,2}, Maria Horbach¹, Jan Hots¹

¹ Abteilung für Experimentelle Audiologie, Otto-von-Guericke Universität, D-39120 Magdeburg

² E-Mail: jesko.verhey@med.ovgu.de

Einleitung

Umweltschalle mit einer tonalen Komponente (d.h. tonhaltige Schalle) werden im Allgemeinen als lästiger empfunden als solche ohne einen tonalen Anteil. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nicht nur Reintöne sondern auch Bandpassrauschen einen tonalen Charakter haben können, sofern diese eine geringe Bandbreite aufweisen. Die Stärke des tonalen Charakters wird üblicherweise als Ausgeprägtheit der Tonhöhe (Englisch: „pitch strength“) bezeichnet. Dass ein Bandpassrauschen unter bestimmten Voraussetzungen ebenfalls eine starke Ausgeprägtheit der Tonhöhe aufweisen kann, wurde in der DIN 45681 [1] bei der Berechnung der Tonhaltigkeit berücksichtigt. Hierbei wird neben einer Flankensteilheit eine maximale Bandbreite angegeben, bei der die Ausgeprägtheit der Tonhöhe noch mindestens 70 % von der eines Tons beitrage und daher ebenfalls als tonale Komponente zu betrachten sei. Die Stärke der Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Bandpassrauschen nimmt bei festgehaltener Mittenfrequenz mit zunehmender Bandbreite monoton ab und nimmt bei gleicher Bandbreite mit zunehmender Mittenfrequenz zu (Fastl und Zwicker, 2007 [2]). Auf der letzten DAGA wurden Daten zur Ausgeprägtheit der Tonhöhe als Funktion der Bandbreite für Normalhörende und Probanden mit einer Innenohrschwerhörigkeit vorgestellt (Hots et al., 2016 [3]). Die Daten bestätigen die eben genannten aus der Literatur bekannten Abhängigkeiten. Allerdings wurden für mittlere bis große Bandbreiten deutlich höhere Ausgeprägtheiten der Tonhöhe gemessen als die Daten von Fastl und Zwicker [2] aufweisen. Die Hypothese der vorliegenden Studie war es, dass der Unterschied in den verwendeten Algorithmen zur Bandpassfilterung begründet ist. Während für die Daten in Fastl und Zwicker (2007) [2] die Signale im Zeitbereich mit einem Butterworthfilter bandbegrenzt wurden, wurde in Hots et al. (2016) [3] die Bandbegrenzung im Spektralbereich durch Nullsetzung der Fourierkomponenten außerhalb des gewünschten Frequenzbereiches realisiert. Zur Überprüfung der Hypothese wurden Messungen mit beiden Arten der Bandbegrenzung durchgeführt.

Methode

Wie in der Studie von Hots et al. (2016) [3] wurden 30-dB Bandpassrauschsignale mit geometrischen Mittenfrequenzen von 375, 750 und 1500 Hz verwendet. Die Bandbegrenzung erfolgte entweder im Spektralbereich wie in Hots et al. (2016) [Stimulus Typ A] oder durch Bandbegrenzung im Zeitbereich mit einem Butterworth Filter 3. Ordnung wie in Fastl und Zwicker (2007) [2] [Stimulus Typ B]. Spektren der beiden Stimulustypen finden sich

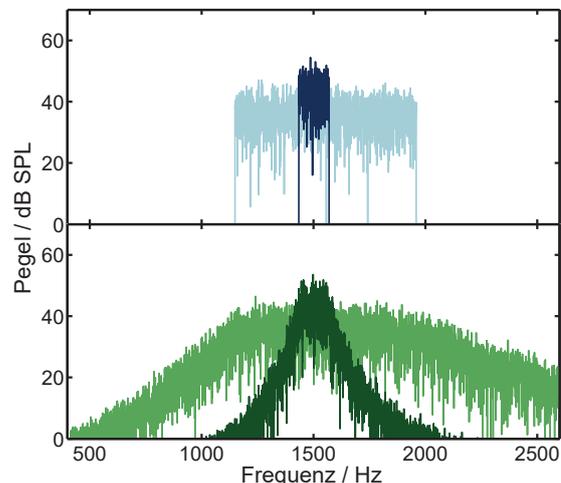


Abbildung 1: Spektren von Bandpassrauschen einer Mittenfrequenz von 1500 Hz und Bandbreite von 135 Hz (dunkle Farben) oder 810 Hz (helle Farben) mit den beiden Algorithmen zur Bandbegrenzung: im Spektralbereich (Typ A, oben, blau) und im Zeitbereich (Typ B, unten, grün).

für zwei Bandbreiten in Abbildung 1.

Die Ausgeprägtheit der Tonhöhe wurde durch ein Skalierungsverfahren bestimmt. Hierzu wurde den Versuchspersonen zunächst auf einer Einführungsfläche der Begriff „Ausgeprägtheit der Tonhöhe“ durch drei Schalle mit unterschiedlicher Bandbreite nähergebracht. Diese konnten so häufig angehört werden, wie es von den Versuchspersonen gewünscht wurde. Mit einem „Weiter“-Knopf wurde die eigentliche Messoberfläche gestartet. Diese bestand aus einem „Abspielen“-Knopf, einem Schieberegler, einem „100 %“-Knopf, einem „Weiter“-Knopf und einem Knopf, mit dem die Messung jederzeit beendet werden konnte. Das zu bewertende Signal konnte durch Drücken des „Abspielen“-Knopfes angehört werden. Mehrfaches Abspielen war möglich. Die Bewertung erfolgte mit dem Schieberegler. Zur Orientierung konnten die Versuchspersonen durch Betätigen des „100 %“-Knopfes einen Ton an der Mittenfrequenz des zu bewertenden Bandpassrauschens abspielen. Durch Betätigen des Knopfes „Weiter“ wurde zur Bewertung des nächsten Signals übergegangen. Die Reihenfolge der Signale eines Stimulustyps war zufällig. An der Messung nahmen 10 normalhörende Versuchspersonen teil. Bei der Messung saßen die Versuchspersonen in einer doppelwandigen Hörkabine. Die Signale wurden mit einer Abtastrate von 44.1 kHz in MATLAB erzeugt, mit einer Soundkarte (RME Fireface UC) in analoge Signale gewandelt und über Kopfhörer (Sennheiser HD 650) präsentiert. Die

Messung wurde in zwei Teilen durchgeführt. 50 % der Versuchspersonen begannen mit der Bewertung von Stimuli des Typ A, die anderen 50 % mit der von Stimuli des Typs B. Danach wurde der jeweils andere Stimulustyp bewertet.

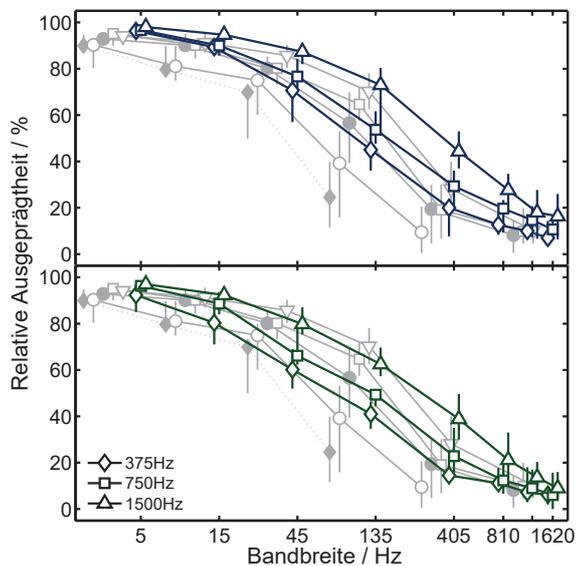


Abbildung 2: Relative Ausprägtheit der Tonhöhe für Bandpassrauschen mit Mittenfrequenzen von 375 Hz (Rauten), 750 Hz (Quadrate) und 1500 Hz (Dreiecke). Das obere Teilbild zeigt die Ergebnisse für Stimulus Typ A, das untere für Stimulus Typ B. Im Hintergrund sind mit grauen Symbolen zum Vergleich die Daten von Zwicker und Fastl (2007) [2] für Frequenzen von 250 Hz bis 4 kHz gezeigt.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt die mittleren Bewertungen der 10 Versuchspersonen für die Stimuli des Typ A (oben) und des Typ B (unten). Unterschiedliche Symbole zeigen Daten unterschiedlicher Mittenfrequenz. Zur besseren Lesbarkeit der Abbildung sind die Daten leicht gegeneinander verschoben. Im Hintergrund in Grau sind die Daten aus Fastl und Zwicker (2007) [2] dargestellt (Darstellungsform wie dort). Für beide Stimulustypen nimmt die Ausprägtheit der Tonhöhe mit zunehmender Bandbreite ab und bei gleicher Bandbreite mit zunehmender Mittenfrequenz zu. Diese Trends sind in Einklang mit den Literaturdaten. Für mittlere bis hohe Bandbreiten ist die Ausprägtheit der Tonhöhe der Stimuli des Typs B leicht geringer als die des Typs A. Dieses liegt voraussichtlich an der Flankensteilheit der Bandpassrauschsignale. Eine Erhöhung der Ausprägtheit der Tonhöhe von der Flankensteilheit wurde für Tiefpassrauschen bereits in Fastl und Zwicker gezeigt. Auffällig ist, dass auch mit der geringeren Flankensteilheit die Ergebnisse noch oberhalb der Daten aus der Literatur liegen. Dieses ist insbesondere daher bemerkenswert, da ein gegenüber Fastl und Zwicker um 20 dB geringerer Stimuluspegel verwendet wurde. Fastl und Zwicker [2] zeigten für Reintöne, dass die Ausprägtheit der Tonhöhe mit dem Stimuluspegel zunimmt. Eigene noch unveröffentlichte erste Daten zu Ausprägtheit der Tonhöhe bei 70 dB anstelle

der hier verwendeten 30 dB zeigen, dass sich sowohl die Unterschiede zu den Literaturdaten als auch zwischen den Stimulustypen erhöhen. Gegenüber den Daten aus Fastl und Zwicker [2] deutlich höhere Ausprägtheit der Tonhöhen für mittlere Bandbreiten wurden bereits von Fruhmann (2004) [4] gezeigt, allerdings mit einer schmalbandigen Referenz (10 Hz breites Rauschen), der eine Ausprägtheit von 100 % zugeordnet wurde. Auf Basis der hier gezeigten Daten stellt sich die Frage, ob die Bandpassgrenze in der DIN 45681 [1], bis zu der ein tonales Bandpassrauschen zur Berechnung der Tonhaltigkeit berücksichtigt wird, in der Tonhaltigkeitsnorm überdacht werden sollte.

Literatur

- [1] DIN 45681: Akustik – Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen. 2005
- [2] Fastl, H., Zwicker, E.: Psychoacoustics – Facts and Models, 3rd edition (2007), Springer Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-68888-4.
- [3] Hots, J., Horbach, M., Verhey, J.L.: Lautheit und Ausprägtheit der Tonhöhe von subkritischen Bandpassrauschsignalen. DAGA 2016, Aachen, Germany. ISBN: 978-3-939296-10-2, pp. 279–280, Dega e.V., Berlin.
- [4] Fruhmann, M.: On the pitch strength of bandpass noises. ICA 2004, Kyoto, Japan. <http://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2004Kyoto/pdf/Tu.P3.16.pdf>