

Tonhaltigkeit und Hörvermögen

Jesko Verhey^{1,2}, Shirin Ashraf Vaghefi¹, Jan Hots¹

¹ Abteilung für Experimentelle Audiologie, Otto-von-Guericke-Universität, Leipziger Straße 44, 39120 Magdeburg

² Email: jesko.verhey@med.ovgu.de

Einleitung

Viele der technischen Geräusche in unserer urbanen Umgebung enthalten neben rauschhaften Anteilen auch klar wahrnehmbare tonale Anteile. Es ist zu erwarten, dass solche tonalen Geräusche im Umgebungsschall mit der zunehmenden Bedeutung von Elektromotoren in unserer technisierten Umwelt (z.B. im Fahrzeugbereich) in Zukunft sogar noch häufiger auftreten werden. Hörbare tonale Anteile können jedoch zu einer erhöhten Lästigkeit des Schalls führen. Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, den Einfluss des Hörvermögens auf die Wahrnehmung tonaler Anteile im Geräusch zu untersuchen.

Die Tonhaltigkeit ist die Empfindungsgröße, die in der Psychoakustik mit der Wahrnehmung von Tönen im Rauschen verbunden wird (siehe [1] für einen Überblick). Da die Tonhaltigkeit die empfundene Intensität des tonalen Anteils beschreibt, liegt es nahe, dass die Lautheit des tonalen Anteils im Gesamtgeräusch der Tonhaltigkeit entspricht. Letztere Größe ist für Versuchspersonen deutlich leichter zugänglich als die Tonhaltigkeit. Eine hohe Übereinstimmung der beiden Empfindungen wurde unter anderem in [2] gezeigt. Daher wird im Folgenden die Tonhaltigkeit mit der Lautheit des tonalen Anteils gleichgesetzt.

Damit ein tonaler Anteil zur Tonhaltigkeit beiträgt muss dieser hörbar sein. Die untere Grenze der Wahrnehmung tonaler Komponenten ist durch die Mithörschwelle des tonalen Anteils gegeben. Die Mithörschwelle hängt unter anderem von der Anzahl der tonalen Komponenten ab. So ist der Pegel an der Mithörschwelle für die Komponenten eines Tonkomplexes niedriger als für die entsprechenden Einzeltöne [3]. Auch überschwellig hat die Anzahl der tonalen Komponenten einen Einfluss auf die empfundene Intensität. So ist ein einzelner Ton bei gleichem Pegel leiser als ein Tonkomplex. Dieses ist auf die spektrale Lautheitssummation zurückzuführen [4].

Messungen zu Tonhaltigkeit wurden bisher mit Normalhörenden durchgeführt. In unserer alternden Gesellschaft ist es aber zunehmend von Bedeutung, wie sich das Hörvermögen auf die Tonhaltigkeit auswirkt, da dieses schon beim normalen Alterungsprozess mit zunehmenden Alter abnimmt. Im vorliegenden Beitrag wurde daher die Tonhaltigkeit von ein- und mehrkomponentigen tonalen Anteilen in Rauschen bei Normalhörenden und Schwerhörenden gemessen. Zusätzlich zur Tonhaltigkeit wurde in den beiden Versuchspersonengruppen die Angenehmheit der Signale bestimmt.

Methode

An der Messung nahmen sechs Schwerhörende und sechs normalhörende Versuchspersonen teil. Die normalhörenden Versuchspersonen hatten ein Alter zwischen 22 und 48

Jahren. Ihre Ruhehörschwelle im relevanten Frequenzbereich bis 2 kHz war nie höher als 15 dB HL. Die Schwerhörenden hatten ein Alter zwischen 67 und 79 Jahren. Sie hatten einen moderaten flachen Hörverlust von 25 bis 45 dB HL im relevanten Frequenzbereich bis 2 kHz. Der Schallleitungsanteil war maximal 10 dB. Keine der Versuchspersonen hatte einen Tinnitus. Die Teilnahme an den Hörexperimenten wurde bezahlt.

Das Experiment unterteilte sich in vier Teile. Im ersten Teil wurden der individuelle Pegel für ein Bandpassrauschen (87,5 bis 5600 Hz) bestimmt, der von der Versuchsperson als mittellaut wahrgenommen wurde. Hierzu wurde eine kategoriale Skalierung nach DIN 13862 mit einer elfstufigen Skala verwendet.

Im zweiten Teil wurden die Mithörschwellen von Sinustönen an vier Frequenzen (175, 350, 700 und 1400 Hz) in Anwesenheit des mittellauten Bandpassrauschens mit einem adaptiven 3-Intervall 3-Alternativen Zwangwahlverfahren (Engl. alternative forced choice, AFC) bestimmt. Der Pegel wurde nach zwei aufeinander folgenden richtigen Antworten verringert und nach jeder falschen erhöht (1-up 2-down Regel). Die Schrittweite der Pegeländerungen wurde an den oberen Umkehrpunkten von 6 dB auf 3 dB und schließlich auf 1 dB reduziert. Mit der kleinsten Schrittweite wurde die Messung für sechs weitere Umkehrpunkte fortgesetzt. Eine Mithörschwellenschätzung des Tons im Rauschen wurde als Mittelwert der Pegel dieser letzten sechs Umkehrpunkte berechnet. Jede Mithörschwelle wurde dreimal gemessen und ihre Ergebnisse gemittelt. Danach wurden die Pegel der Töne in den Tonkomplexen (350 und 700 Hz bzw. 175, 350, 700 und 1400 Hz) und individuell so angeglichen, dass jeder Ton den gleichen Pegel über seiner Mithörschwelle hat. Für diese Tonkomplexe wurden ebenfalls die Mithörschwellen gemessen. Das Verfahren entsprach dem für die Einzeltöne.

Im dritten Teil des Experiments wurde die Lautheit des tonalen Anteils verschiedener Testsignale an die Lautheit eines 700 Hz-Einzeltons im mittellauten Rauschen (Referenzsignal) angeglichen. Das Testsignal war entweder ebenfalls der 700 Hz-Einzeltone im mittellauten Rauschen oder einer der beiden Tonkomplexe im mittellauten Rauschen. Der Pegel bei gleicher Lautheit des tonalen Anteils wurde mit Hilfe eines 2-Intervall 2-AFC-Verfahrens angeglichen. Der Referenzton hatte einen Pegel von 8, 16 oder 24 dB über der individuellen Mithörschwelle. Im adaptiven Verfahren wurde der Pegel der tonalen Komponente des Testsignals mit einer 1-up 1-down Regel variiert. Die Schrittweite der Pegeländerungen wurde an den oberen Umkehrpunkten von 8 dB auf 4 dB und schließlich auf 2 dB halbiert. Mit dieser kleinsten Schrittweite wurde die Messung für vier weitere Umkehrpunkte fortgesetzt. Der Mittelwert dieser letzten vier Umkehrpunkte lieferte die Pegeldifferenz bei gleicher Lautheit der tonalen Komponente des Referenz-

und des Testsignals. Jede Kondition wurde zweimal gemessen (Startpegeldifferenz 0 und 10 dB).

Im vierten Teil wurde die Angenehmheit der verschiedenen tonalen Geräusche gemessen. Das Messverfahren entsprach im Wesentlichen dem der Lautheitsmessung. Die Referenzsignale waren hier die tonalen Geräusche mit einem, zwei oder vier Komponenten. Der tonale Anteil hatte einen Pegel von 8, 16 oder 24 dB über der Mithörschwelle. Das Testsignal war ein Rauschen ohne tonalen Anteil, dessen Pegel im adaptiven Verfahren variiert wurde.

Ergebnisse und Diskussion

Die Mithörschwelle der Normalhörenden für die Einzeltöne hing im Mittel (Zentralwert) kaum (Differenz < 2dB) von der Signalfrequenz ab. Bei Anwesenheit von zwei Komponenten sank der Pegel pro Komponente an der Schwelle im Mittel um 1,5 dB ab. Bei vier Komponenten war der Pegel jeder Komponente im Mittel 3 bis 4 dB niedriger als der des Einzeltons. Dieser Effekt ist kleiner als der bei einer Integration der Intensität zu erwarten gewesen wäre (3 dB pro Verdoppelung) aber entspricht den Vorhersagen einer Integration der Information über die Frequenzgruppen hinweg (siehe [3], [5]). Bei den Schwerhörenden zeigt sich eine leicht stärkere Absenkung des Pegels der Komponenten an der Schwelle durch die Erhöhung der Anzahl der Komponenten: 3 dB für den Zweitontkomplex und knapp 5 dB für den Viertontkomplex.

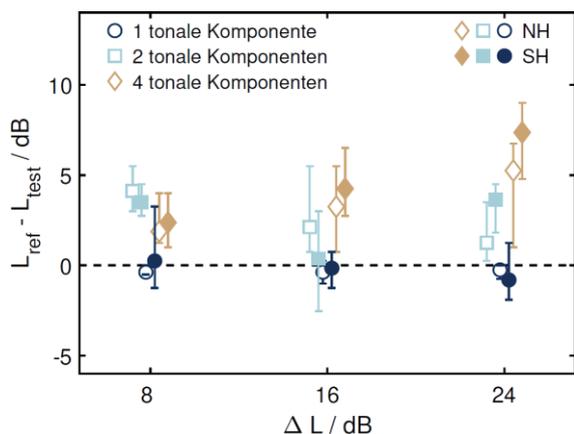


Abbildung 1: Pegeldifferenz bei gleicher Lautheit des tonalen Anteils zwischen Referenzsignal und Testsignal. Das Testsignal hatte eine (○), zwei (□) oder drei (◇) tonale Komponenten mit unterschiedlichem Pegel oberhalb der Mithörschwelle ΔL . Am Versuch nahmen Normalhörende (NH, offene Symbole) und Schwerhörende (SH, gefüllte Symbole) teil. Es sind Median und Interquartilsbereiche der beiden Versuchspersonengruppen dargestellt.

Abbildung 1 zeigt die Pegeldifferenz $L_{ref} - L_{test}$ zwischen Referenzsignal und Testsignal bei gleicher Lautheit des tonalen Anteils für drei verschiedene Pegel ΔL über der Mithörschwelle des Referenzsignals. Die Testsignalpegel beziehen sich hierbei auf den Pegel der 700 Hz Komponente im Testsignal. Sind die tonalen Anteile von Testsignal und Referenzsignal gleich, so ist wie erwartet die Pegeldifferenz in etwa 0 dB. Dies zeigen beide Versuchspersonengruppen. Ebenfalls waren wie erwartet sowohl für Schwerhörenden (gefüllte Symbole) als auch für Normalhörende (offene Symbole) die Pegeldifferenzen für alle Tonkomplexe positiv.

Die Abhängigkeit von Pegel des tonalen Referenzsignals und Anzahl der Testsignalkomponenten ist uneinheitlich. Für die höheren Referenzpegel nimmt erwartungsgemäß die Pegeldifferenz mit zunehmender Anzahl der Komponenten zu. Für den niedrigsten Referenzpegel ist jedoch der Pegel des Viertontkomplex (Rauten) geringfügig kleiner als der des Zweitontkomplexes (Quadrate). Für den Viertontkomplex sind die Pegeldifferenzen für die Schwerhörenden geringfügig größer als die der Normalhörenden. Für den Zweitontkomplex zeigt sich hingegen kein klarer Trend. Insgesamt liegen alle Unterschiede der Versuchspersonengruppen innerhalb der Interquartilsbereiche.

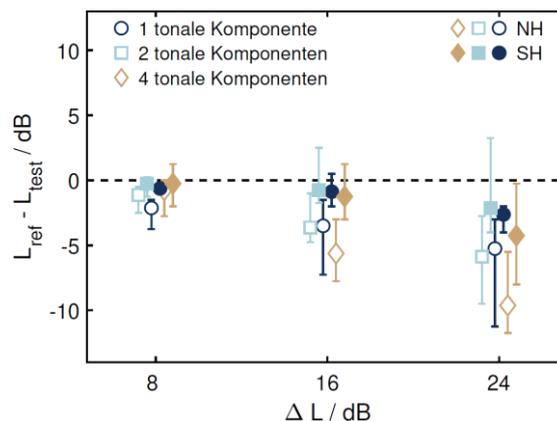


Abbildung 2: Pegeldifferenz bei gleicher Angenehmheit zwischen Testsignal (nur Rauschen) und tonhaltigem Referenzsignal. Die Symbole entsprechen Abb. 1. Es sind Median und Interquartilsbereiche der beiden Versuchspersonengruppen dargestellt.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Angenehmkeitsmessung. Für beide Versuchspersonengruppen ist für alle Bedingungen der Medianwert negativ, d.h. wie erwartet sind tonale Geräusche weniger angenehm als nicht tonale Geräusche. Der Effekt nimmt mit zunehmendem Pegel und Anzahl der Komponenten zu. Allerdings fällt auf, dass der Effekt bei den Schwerhörenden deutlich weniger stark ausgeprägt ist als bei Normalhörenden. Der Datensatz ist mit sechs Versuchspersonen pro Gruppe jedoch noch sehr begrenzt. Weitere Messungen müssen zeigen, ob tonale Geräusche bei gleicher Hörbarkeit der tonalen Komponenten für Schwerhörende wirklich tendenziell weniger störend wirken als für Normalhörende.

Literaturverzeichnis

- [1] Hansen, H., Verhey, J. L., Weber, R.: The Magnitude of Tonal Content. A Review. *Acta Acust. united Ac.* 97 (2011), 355–363
- [2] Verhey, J. L., Heise, S. J.: Suprathreshold perception of tonal components in noise under conditions of masking release. *Acta Acust. united Ac.* 98 (2012), 451–460
- [3] Green, D. M.: Detection of multiple component signals in noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 30 (1958), 904–911
- [4] Scharf, B.: Loudness summation under masking. *J. Acoust. Soc. Am.* 51 (1961), 503–511
- [5] Buus, S., Müsch, H., Florentine, M.: On loudness at threshold. *J. Acoust. Soc. Am.* 30 (1998), 399–410