

Teillautheit von dichotischen (Multi-)Tonsignalen in Rauschen

Jesko L. Verhey¹, Gloria-Tabea Badel¹, Jan Hots¹

¹ *Abteilung für Experimentelle Audiologie, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Leipziger Str. 44, 39120 Magdeburg, E-Mail: jesko.verhey@med.ovgu.de*

Einleitung

In unserem urbanen Alltag sind wir häufig von technischen Geräuschen umgeben. Viele dieser Geräusche enthalten neben rauschhaften Anteilen häufig auch klar wahrnehmbare Töne. Es ist zudem zu erwarten, dass der Anteil tonaler Geräusche im Umgebungsschall mit der zunehmenden Bedeutung von Elektromotoren in unserer technisierten Umwelt (z.B. im Fahrzeugbereich) noch zunehmen wird. Hörbare tonale Anteile können jedoch zu einer erhöhten Lästigkeit des Schalls führen. Daher ist das Ziel dieses Beitrags, die empfundene Stärke der Wahrnehmung solcher tonalen Komponenten im Gesamtgeräusch zu quantifizieren. Im besonderen Fokus dieser Studie stehen tonale Anteile, die aus einer anderen Richtung als der Rauschhintergrund kommen, d.h. dichotische Situationen.

Die Empfindungsgröße, die in der Psychoakustik üblicherweise mit der Wahrnehmung von Tönen im Rauschen verbunden wird, ist die Tonhaltigkeit (siehe Hansen et al. (2011) für einen Überblick). Der Begriff Tonhaltigkeit ist im allgemeinen Sprachgebrauch im Zusammenhang mit einer Hörwahrnehmung nicht sehr geläufig. Allerdings zeigten unter anderem Heise und Verhey (2012), dass die Tonhaltigkeit der (Teil-)Lautheit des tonalen Anteils im Gesamtgeräusch entspricht. Diese Größe erlaubt einen einfacheren experimentellen Zugang zu der Quantifizierung der empfundenen Stärke des tonalen Anteils und wird daher in dieser Studie betrachtet.

Die untere Grenze der Wahrnehmung tonaler Komponenten ist durch die Mithörschwelle des tonalen Anteils bestimmt. Bei Anwesenheit interauraler Unterschiede im tonalen Anteil (d.h. dichotischen Signalen) im diotischen Hintergrund ist die Mithörschwelle gegenüber einer rein diotischen Situation (tonaler Anteil und Rauschhintergrund an beiden Ohren gleich) reduziert. Dieser Effekt wird als binauraler Gewinn („Binaural masking level difference“, BMLD) bezeichnet. Es konnte gezeigt werden, dass dieser binaurale Gewinn sich auch überschwellig wiederfindet, jedoch mit zunehmendem Pegel über der Mithörschwelle abnimmt (z.B. Townsend und Goldstein, 1972, Verhey und Heise, 2012).

Die Mithörschwelle hängt auch 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 (Green, 1958). Überschwellig ist durch die spektrale Lautheitssummutation ein Pegelunterschied bei gleicher Lautheit zwischen Einzelton und Tonkomplex zu erwarten (Scharf, 1961). Der Einfluss dieser beiden Stimulusparameter (Anzahl der Komponenten, interaurale Unterschiede) auf die Teillautheit des überschwelligen tonalen Anteils wird in dieser Studie näher untersucht.

Methode

An der Messung nahmen fünf unbefangene Versuchspersonen (3 weiblich, 2 männlich) mit einem mittleren Alter von 24 Jahren teil. Keine ihrer Ruhhörschwellen war im relevanten Frequenzbereich bis 2 kHz höher als 15 dB HL. Sie wurden für die Teilnahme an den Hörexperimenten bezahlt.

Das Experiment unterteilte sich in zwei Teile. Im ersten Teil wurden die Mithörschwellen von Sinustönen an vier Frequenzen (175, 350, 700 und 1400 Hz) mit zwei binauralen Bedingungen (S_0 , S_π) in Anwesenheit eines Rauschens (87,5 bis 5600 Hz, 60 dB SPL, diotisch, d.h. N_0) mit einem adaptiven 3-Intervall 3-Alternativen Zwangwahlverfahren (3-AFC) bestimmt. Der Startpegel des Tons lag bei 63 dB SPL. 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 vier weitere Umkehrpunkte fortgesetzt. Eine Mithörschwellschätzung des Tons im Rauschen wurde als Mittelwert der Pegel dieser letzten vier Umkehrpunkte berechnet. Jede Mithörschwelle wurde dreimal gemessen und ihre Ergebnisse gemittelt.

Für den zweiten Teil des Experiments wurden die Pegel der Töne in den Tonkomplexen individuell so angeglichen, dass jeder Ton den gleichen Pegel über seiner Mithörschwelle hat. Es wurden der diotische 700-Hz-Einzelton und der dichotische Einzerton oder die diotischen oder dichotischen Tonkomplexe im Rauschen mit Hilfe eines 2-Intervall 2-AFC-Verfahrens in ihrer Lautheit der tonalen Komponente angeglichen. Als Referenzsignal wurde immer der diotische 700-Hz Einzelton im Rauschen verwendet (N_0S_0). Der Referenzton hatte einen Pegel von 5, 13 oder 21 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 sechs weitere Umkehrpunkte fortgesetzt. Der Mittelwert dieser letzten sechs 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). Begonnen wurde mit dem Angleich der Lautheit des Einzeltones im Rauschen. Anschließend wurden der Zweit- und Viertonkomplex gemessen. Die verschiedenen Konditionen (diotisches und dichotisches Testsignal, Referenzpegel) in einem Durchlauf wurden randomisiert dargeboten.

Ergebnisse und Diskussion

Die mittlere Mithörschwelle für den diotischen 700-Hz Einzelton liegt bei 42 dB SPL, die des dichotischen 700-Hz Einzeltons bei 32 dB SPL. Der binaurale Gewinn, d.h. die BMLD, ist somit für diese Frequenz 10 dB. Für die Frequenzen 175, 350, und 1400 Hz ist die BMLD 11, 12, und 7 dB. Dieses entspricht der erwarteten Frequenzabhängigkeit der BMLD (z.B. van de Par & Kohlrausch, 1999). Wird die Anzahl der Komponenten auf 4 erhöht so steigt der Gesamtpegel des tonalen Anteils um 3 dB, unabhängig von der interauralen Phase des tonalen Anteils. Das bedeutet, dass an der Schwelle die Pegel der Einzelkomponenten des Tonkomplexes etwa 3 dB unterhalb der Pegel der Einzeltonschwelle liegen. Dieses entspricht den Literaturdaten und der dort aufgestellten Hypothese einer Integration der Information über die Frequenzgruppen hinweg (siehe Green, 1958, Buus et al., 1990).

Abbildung 1 zeigt die Pegeldifferenz zwischen Testsignal und Referenzsignal bei gleicher Lautheit des tonalen Anteils für drei verschiedene Pegel des Referenzsignals. Die Pegel 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 der Pegel bei gleicher Lautheit des tonalen Anteils auch gleich (0 dB Differenz). Für den dichotischen 700-Hz Einzelton nimmt die Pegeldifferenz mit zunehmenden Referenzpegel ab. Bei dem höchsten Pegel ist wie nach früheren Studien erwartet die Pegeldifferenz bei gleicher Lautheit ebenfalls nahe 0 dB. Die früheren Studien zeigten bei einem Pegel von etwa 20 dB über der diotischen Schwelle keinen oder nur einen sehr geringen (≤ 2 dB) binauralen Gewinn (Townsend und Goldstein, 1972, Soderquist und Schilling, 1990, Verhey und Heise, 2012).

Für alle Tonkomplexe sind die Pegeldifferenzen positiv, d.h. die 700-Hz Komponente im Komplex muss einen niedrigeren Pegel haben als der gleich laute Einzelton im Rauschen. Die Pegeldifferenz ist für die beiden höheren Referenzpegel nahezu unabhängig vom Referenzpegel. Dieses Ergebnis entspricht dem von Scharf (1961), der jedoch andere Frequenzen und ein anderes Hintergrundrauschen betrachtet hat. Diese Pegeldifferenz spiegelt die spektrale Lautheitssummation wider, die mit zunehmender Anzahl der durch den tonalen Anteil angeregten Frequenzgruppen zunimmt.

Für die dichotischen Tonkomplexe sind die Pegeldifferenzen um mehrere Dezibel höher als die entsprechenden Pegeldifferenzen für die diotischen Tonkomplexe. Das bedeutet, dass für die Tonkomplexe im Gegensatz zum Einzelton über den gesamten betrachteten Pegelbereich ein binauraler Gewinn festzustellen ist. Dieses Ergebnis legt nahe, dass Lautheitssummation und binauraler Gewinn nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind. Für vier weit auseinanderliegende tonale Anteile ist der binaurale Gewinn für alle drei Referenzpegel etwa 5 dB. Der binaurale Gewinn für den Zweittonkomplex nimmt hingegen mit zunehmenden Pegel ab. Für eine genauere Analyse des kombinierten Einflusses von Anzahl der Komponenten und interauralen Unterschieden sind allerdings Messungen mit weiteren

Versuchspersonen notwendig. Die Berücksichtigung der hier untersuchten Parameter auf die Wahrnehmung der tonalen Anteile könnte zu einer genaueren Bewertung der Wahrnehmung von Umweltschallen führen, da davon auszugehen ist, dass eine erhöhte Lautheit des tonalen Anteils auch zur einer erhöhten Lästigkeit führt.

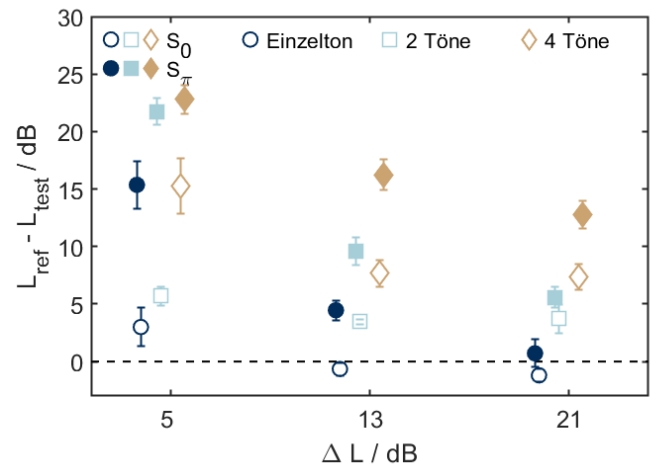


Abbildung 1: Pegeldifferenz bei gleich empfundener Lautheit des tonalen Anteils zwischen einem Referenzsignal (700-Hz Sinuston in Rauschen) mit dem festen Pegel L_{Ref} und einem Testsignal, das zusätzlich zum Rauschen ebenfalls einen 700-Hz Sinuston oder einen Tonkomplex aus zwei oder vier Tönen enthält. Der Pegel L_{Test} des Testsignals wird als Pegel der 700-Hz Komponente angegeben. Es sind Mittelwerte und Standardfehler der 5 Versuchspersonen gezeigt. Die verschiedenen Symbole kennzeichnen die Ergebnisse der unterschiedlichen Testschalle (siehe Legende).

Literatur

- [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] Townsend, T. H., Goldstein, D. P.: Suprathreshold binaural unmasking. *J. Acoust. Soc. Am.* 51 (1972), 621-624
- [4] Green, D. M.: Detection of multiple component signals in noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 30 (1958), 904-911
- [5] Scharf, B.: Loudness summation under masking. *J. Acoust. Soc. Am.* 51 (1961), 503-511
- [6] van de Par, S., Kohlrausch, A.; Green, D. M.: Detection of multiple component signals in noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 30 (1958), 904-911
- [7] Buus, S., Müsch, H., Florentine, M.: On loudness at threshold. *J. Acoust. Soc. Am.* 30 (1998), 399-410
- [8] Soderquist, D. R., Schilling, R. D.: Loudness and the binaural masking level difference. *Bull. Psychonom. Soc.* 28 (1990), 553-555