

Psychoakustische Bewertung von Multitonsignalen

Stephan Töpken¹, Jesko Verhey^{1,2}, Reinhard Weber¹

¹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Physik,

26111 Oldenburg, Deutschland, Email: stephan.toepken@uni-oldenburg.de

² Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Abt. Experimentelle Audiologie

39120 Magdeburg

Einleitung

Drehklänge, bestehend aus Grundton und höheren Harmonischen, treten bei einer Vielzahl von Maschinen und Geräten des täglichen Lebens auf. Wenn aufgrund von Nichtlinearitäten zusätzlich Kombinationstöne auftreten, können die resultierenden Geräusche sehr unterschiedliche Empfindungen auslösen und mitunter sehr hart und unangenehm klingen [1]. Ziel dieser Untersuchung ist es, die Wahrnehmungsdimensionen von Multitonsignalen dieser Art mit dem speziellen Fokus auf den Einfluss des Grades der Verstimmung auf die Beurteilung systematisch zu untersuchen.

Multitonbewertung mit dem semantischen Differential

Methode

Zur Geräuschbeurteilung wird ein semantisches Differential mit 16 Adjektivpaaren verwendet. Die Bewertung erfolgt auf 11-stufigen Kategorienskalen, die für neun Adjektivpaare bipolar und für sieben Adjektivpaare unipolar angelegt sind. Zwei Adjektivpaare werden am Ende der Beurteilungen wiederholt abgefragt. Die Adjektivpaare finden sich in Tabelle 1.

Stimuli

Die Multitonsignale setzen sich jeweils zusammen aus zwei harmonischen Tonkomplexen (f_{i0}, f_{0j} , jeweils 30 Teiltöne), sowie Summationstönen (f_{ij}) bis zur 20. Ordnung.

$$\begin{array}{lll} f_{i0} = i \cdot f_{10} & i=1..30 & 1. \text{ harm. Tonkomplex} \\ f_{0j} = j \cdot f_{01} & j=1..30 & 2. \text{ harm. Tonkomplex} \\ f_{ij} = i \cdot f_{10} + j \cdot f_{01} & i=1..20 & \text{Summationstöne} \\ & j=1..20 & \end{array}$$

Die Phasen aller Teiltöne sind gleichmäßig zufallsverteilt aus dem Intervall $[0, 2\pi]$ gewählt und der Pegel der Teiltöne nimmt proportional zu $1/f^2$ ab. Die Summationstöne sind gegenüber den harmonischen Tonkomplexen um 10 dB abgesenkt. Die Tongemische haben eine Dauer von jeweils 5 Sekunden. Die Grundfrequenz des tieferen komplexen Tones ist konstant $f_{10} = 100 \text{ Hz}$. Al Parameter wird der Grundton f_{01} des höheren komplexen Tones so variiert, dass sowohl Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen (z.B. 4:3), als auch großer, ganzer Zahlen (z.B. 134:100), die schon durch minimale Verstimmungen von kleinen, ganzzahligen Grundtonverhältnissen entstehen können, vertreten sind.

Versuchsteilnehmer

An dem Experiment nahmen insgesamt 37 nor-

malhörende Personen (21 f, 16 m) im Alter von 19-62 Jahren (Median=21 Jahre) teil. Die Messung wurde in 11 Sessions unterteilt, an denen jeweils maximal 5 Personen gleichzeitig teilgenommen haben.

Versuchsaufbau

Die Wiedergabe der im Computer gespeicherten Geräusche erfolgt über eine externe Soundkarte (M-Audio, Fast Track Pro) und einen Lautsprecher (Mackie, HR 824), der in einem Seminarraum mittig, in etwa 2m Abstand, vor der Teilnehmergruppe positioniert ist. Alle Geräusche werden mit einem konstanten Pegel von 70 dB(A) dargeboten.

Ergebnisse

Die Bewertung des Adjektivpaares „angenehm - unangenehm“, dargestellt in Abb. 1, zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Urteile von dem Verhältnis der unteren Grundfrequenzen. Geräusche mit Grundtonverhältnissen, die kleinen ganzzahligen Verhältnissen (hier 4:3) entsprechen, werden eher unangenehm empfunden. Geräusche mit einer leichten Verstimmung des Grundtonverhältnisses werden als angenehmer beurteilt.

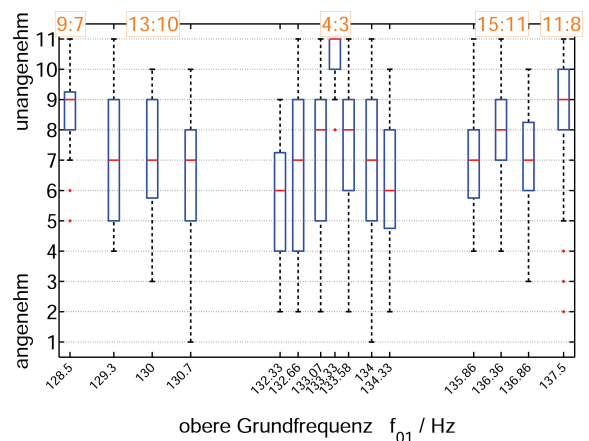


Abbildung 1: Ergebnisse des semantischen Differentials als Boxplots für die Skala „angenehm - unangenehm“ über der oberen Grundfrequenz f_{01} .

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Faktorenanalyse über die Adjektivpaarungen, mit 5 Faktoren, welche die Angenehmheit, die Präsenz, die tonale Reinheit, zeitliche und spektrale Aspekte der Geräusche beschreiben. Im Vergleich mit Literaturdaten lässt sich der erste Faktor als 'pleasant', der zweite als 'powerful' und die letzten drei Faktoren zusammen als 'metallic' identifizieren [2][3].

Adjektivpaare	Angenehmheit	Präsenz	Reinheit	zeitlich	spektral
angenehm - unangenehm (wdh.)	0,773				
nicht aufdringlich - aufdringlich	0,717				
wohlklingend - missklingend	0,689		0,300		
angenehm - unangenehm	0,657				
weich - hart (wdh..)	0,650			0,390	
weich - hart	0,636			0,396	
nicht laut - laut	0,614				
stumpf - scharf	0,499				0,331
trüb - klar		0,953			
nicht dominant - dominant		0,949			
rauschhaft - klangartig			-0,710		
sauber - dreckig			0,655		
glatt - rau			0,575		
nicht schwankend - schwankend				-0,711	
nicht hämmernd - hämmernd	0,461			0,531	
nicht funktionstüchtig - funktionstüchtig	-0,376			0,523	
tief - hoch					0,796
nicht bedrohlich - bedrohlich					0,588
aufgeklärte Varianz: 57%	22%	11%	9%	8%	7%
Namba, 1991 [2], Kuwano, 2006 [3]:	'pleasant'	'powerful'		'metallic'	

Tabelle 1: Varimax-rotierte Komponentenmatrix der Faktorenanalyse über die Adjektivpaare; Faktorladungen unter 0,3 wurden weggelassen.

Paarvergleich der Multitonsignale

Methode

In einem vollständigen Paarvergleich werden die selben Multitonsignale von den selben Versuchsteilnehmern hinsichtlich der Angenehmheit und der Lautheit bewertet. Die Fragestellung lautet in dem einen Experiment „Welches Geräusch ist angenehmer“ und in dem anderen „Welches Geräusch ist lauter?“. Die Abfolge der Geräuschpaarungen in den zwei Experimenten ist für alle Versuchsteilnehmer gleich randomisiert.

Versuchsaufbau

Die Beurteilung der Geräusche findet im reflexionsarmen Raum der Universität Oldenburg statt. Das Experiment ist in Matlab programmiert und alle Geräusche werden über einen Lautsprecher (Mackie HR 824) mit einem konstanten Pegel von 70dB(A) dargeboten.

Ergebnisse

Grundtonverhältnisse aus kleinen ganzen Zahlen werden unangenehmer und lauter als entsprechende verstimmte Grundtonverhältnisse beurteilt (siehe Abb. 2). Die Ähnlichkeiten in der Bewertungsstruktur von Lautheit und Unangenehmheit manifestieren sich in einer signifikanten Rangkorrelation zwischen den Unangenehmheits- und Lautheitsurteilen (Kendall's $\tau = 0.612$).

Zusammenfassung

Multitongeräusche, bestehend aus zwei Klängen und zusätzlichen Summationstönen, wurden mit einem semantischen Differential (16 Adjektivpaare) und einem vollständigen Paarvergleich („Welches Geräusch ist angenehmer/lauter?“) von den selben 37 Teilnehmern bewertet. Als Parameter wurde das Grundtonverhältnis der zwei Klänge variiert. Eine Faktorenanalyse der Ergebnisse des semantischen Differentials führt zu 5 Wahrnehmungsdimensionen (Angenehmheit, Präsenz, tonale

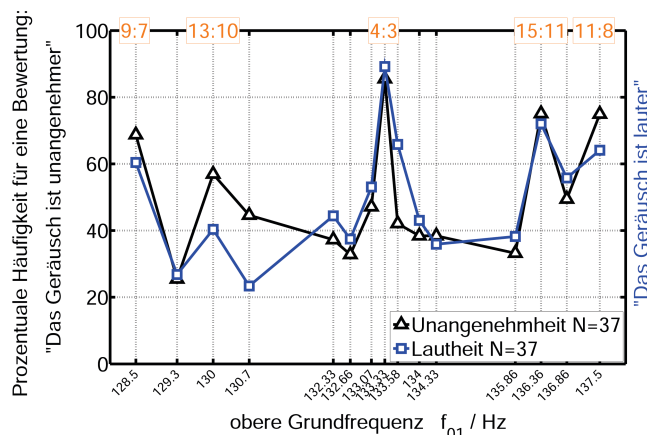


Abbildung 2: Ergebnisse des vollständigen Paarvergleichs: Prozentuale Häufigkeiten einer Bewertung „Das Geräusch ist im Vergleich zu allen anderen Geräuschen unangenehmer/lauter“ über der oberen Grundfrequenz f_{01} .

Reinheit, zeitliche Aspekte, spektrale Aspekte). Die Ergebnisse des Paarvergleichs zeigen eine signifikante Rangkorrelation zwischen dem Unangenehmheits- und Lautheitsurteil.

Literatur

- [1] Töpken, S., Verhey, J., Weber, R.: Psychoakustische Bewertung von superponierten Tonkomplexen. DAGA 2010, Berlin, Deutschland
- [2] Namba, S., Kuwano, S., Hashimoto, T., Berglund, B., Da Rui, Z., Schick, A., Hoegge, H., Florentine, M.: Verbal expression of emotional impression of sound: A cross-cultural study. J. Acoust. Soc. Jpn., (E) 12, 1991.
- [3] Kuwano, S., Fastl, H., Namba, S., Nakamura, S., Uchida, H.: Quality of door sounds of passenger cars. Acoust. Sci. & Tech., 27(5), 2006.