

Zum Verhältnis von Tonhaltigkeit und der partiellen Lautheit der tonalen Komponenten in Rauschen

Hans Hansen und Reinhard Weber

AG Akustik, Institut für Physik, Carl von Ossietzky Universität, 26111 Oldenburg, Deutschland

Email: hans.hansen@uni-oldenburg.de

Einleitung

Tonalen Komponenten erhöhen die Belastung durch Schallimmissionen. Mess- und Beurteilungsverfahren vergeben Tonzuschläge von bis zu 6 dB zum äquivalenten Dauerschallpegel für Immissionen mit starken tonalen Anteil. Hier gilt als Maßstab eine interne subjektive Referenz der Gutachter. Mit der DIN 45681 soll diese interne Referenz durch ein objektives Verfahren ersetzt werden [DIN 45681, 2005].

Ein adaptives Messverfahren ersetzt die interne subjektive Referenz der Gutachter durch ein externe Referenz [Vormann et al., 2000]. Ähnlich dem Prinzip des *Phon* wird hier eine Referenzstimulus auf den Wert der Tonhaltigkeit eines Signals eingestellt. Der Referenzstimulus ist ein Ton im Rauschen. Genauso wie beim *Phon* der Pegel des gleich laut eingestellten 1000 Hz Tons den Wert für die Lautstärke ergibt, so ergibt der eingestellte Signal-Rausch-Abstand den Wert für die Tonhaltigkeit.

Experimente zur Tonhaltigkeit von harmonischen Tonkomplexen, welchem mit dieser Einstellungsmethode durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass es nicht primär auf die individuellen Mithörschwellen der Einzelkomponenten ankommt, sondern dass die Mithörschwelle des gesamten tonalen Hörobjekts die adaptiv eingestellte Tonhaltigkeit bestimmt. Das tonale Hörobjekt wird als Ganzes bewertet. Vor diesem Hintergrund wird die Hypothese getestet, ob die eingestellte Tonhaltigkeit nicht mit der partielle Lautheit des tonalen Vordergrund identifiziert werden kann.

Um diese Hypothese zu testen, wird ein adaptives Einstellungsexperiment durchgeführt. In diesem Experiment wird einmal ein Referenzstimulus auf die gleiche Tonhaltigkeit und einmal auf die gleiche partielle Lautheit des tonalen Anteils eingestellt. Die Ergebnisse werden dann hinsichtlich ihrer Mittelwerte und der Größe der Schwankungen bei der Einstellung verglichen.

Versuchsdesign

Stimuli

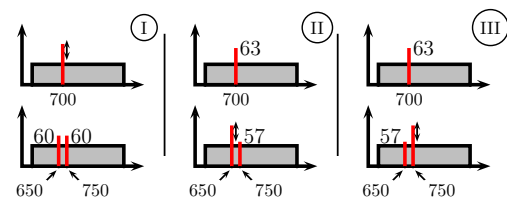
Eine schematische Darstellung der Stimuli findet für das Einstellungsexperiment in Abb. 1. Der Einzelton hat eine Frequenz von 700 Hz, der Zweitonkomplex hat Frequenzen von $T1 = 650$ Hz und $T2 = 750$ Hz. Die Schallpegel der Töne in den jeweiligen Bedingungen sind Abb. 1 oder Tabelle 1 zu entnehmen. Das Hintergrundrauschen ist weißes Rauschen mit Grenzfrequenzen von 200 Hz und

10 kHz. Es hat einen Schallpegel von 60 dB.

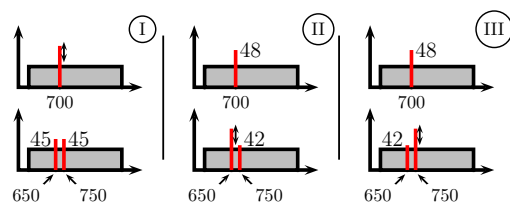
Versuchsdurchführung

Der vorgestellte Versuch besteht aus zwei adaptiven Einstellungsexperimenten. Anhand der ersten Instruktion stellen die VersuchsteilnehmerInnen die Stimuli in beiden Intervallen auf die gleiche Tonhaltigkeit ein. Diese wurde mit einem Tonhaltigkeitsbeispiel eingeführt: der Schallpegel eines Tons in Rauschen wird langsam angehoben und anschließend abgesenkt [Vormann et al., 1998]. Die Instruktion lautet: „Welches Intervall hat die größere Tonhaltigkeit?“ Der Versuch wird wiederholt mit einer zweiten Instruktion: „In welchem Intervall ist der Ton bzw. Tonkomplex lauter?“ Am Ende des gesamten Versuchs wurden die TeilnehmerInnen in einem offenen Interview zu dem Versuch befragt. Der Schwerpunkt lag hier auf den verwendeten Kriterien.

Das Einstellverfahren hat zwei Intervalle (siehe erste und zweite Zeile in Abb. 1(a) und 1(b)). Die Schrittweite, mit der der Ton eingeregelt wird, wird adaptiv verkleinert bis sie 1 dB SPL erreicht. Im Unterschied zu Vormann et al. werden alle Töne eingeregelt, zusätzlich ist das Experiment vollständig „interleaved“. Das Ergebnis eines Vergleichs ist der Mittelwert über die letzten acht Umkehrpunkte; insgesamt gibt 6 Vergleiche für jeweils 2 Instruktionen für jeden Teilnehmer.



(a) „60 dB“-Bedingung



(b) „45 dB“-Bedingung

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsdesigns für zwei unterschiedliche Tonpegelklassen.

VersuchsteilnehmerInnen

Acht normalhörende Personen (3 weiblich, 5 männlich, Alter: 22 – 41 Jahre) nahmen an dem Versuch teil.

Versuchsergebnisse

Intra-subjektive Schwankungen

Die *mittlere* Standardabweichung über alle Teilnehmer und Versuchsparameter der acht Umkehrpunkte beträgt für die Tonhaltigkeitsinstruktion 2,4 dB SPL und für die partielle Lautheitsinstruktion 1,7 dB SPL. Die Schwankungen im Einregelprozess ist für die partielle Lautheitsinstruktion höher.

Ergebnisse der Instruktionen im Vergleich

Die eingestellten Tonpegel sind in Abb. 2 dargestellt. **T** markiert den eingestellten Pegel der Tonhaltigkeit, **L** den der eingestellten partiellen Lautheit. Abb. 2 verdeutlicht die inter-subjektiven Schwankungen. Im Vergleich sind diese deutlich ausgeprägter bei der eingestellten Tonhaltigkeit. Die Unterschiede zwischen der eingestellten Tonhaltigkeit und der partiellen Lautheit sind nicht signifikant (T-tests, Bonferroni-Korrektur, $p = 0.01$).

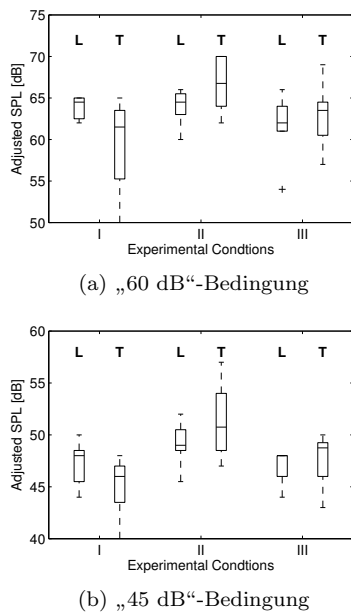


Abbildung 2: Gemeinsamer Titel

Teilnehmerbefragung – Synopsis

Teilnehmer berichteten, dass die Einschätzung der partiellen Lautheit ihnen wesentlich leichter gefallen ist als die der Tonhaltigkeit. 3 TeilnehmerInnen benutzen nach eigenen Angaben schon im Tonhaltigkeitsexperiment die Lautheit des Tons bzw. Tonkomplexes.

Eingestellte partielle Lautheit – Details

In einem nächsten Schritt werden die eingestellten Ergebnisse genauer analysiert. Tabelle 1 zeigt die eingestellten Tonpegel (★-markiert) im Vergleich zu den festen Tonpegeln. Für die 60 dB Bedingung ergibt sich in Bedin-

gung I eine Energieaddition. Bedingung II und III zeigen eine Asymmetrie in den Einstellungen. Wird der tiefere Ton (T1) eingestellt, muss dieser 2.2 dB SPL in beiden Bedingungen höher eingestellt werden. Dieser Tonpegelunterschied ist in der 45 dB-Bedingung signifikant ($t(7) = 3.20, p < 0.05$).

Tabelle 1: Tonpegel der tonalen Komponenten für die eingestellte gleiche partielle Lautheit. Die mittleren eingestellten tonalen Komponenten in jeder Versuchsbedingung sind mit einem ★ gekennzeichnet. Eine Asymmetrie in den Einstellungen wird deutlich für die Bedingung II und III.

	Tonpegelbedingung					
	60 dB			45 dB		
	Pegel [dB SPL]			Pegel [dB SPL]		
	T	T1	T2	T	T1	T2
I	★ 63,9	60	60	★ 44,6	45	45
II	63	★ 64,0	57	48	★ 49,2	42
III	63	57	★ 61,8	48	42	★ 47,0

Zusammenfassende Diskussion

In einem adaptiven Einstellungsexperiment wurde die Tonhaltigkeit und die partielle Lautheit eines Einzelton und eines Zweitonkomplexes in Rauschen wechselseitig eingestellt.

- Die eingestellte Tonhaltigkeit und die partielle Lautheit ergeben keine signifikant unterschiedlichen Einstellungen. Die Instruktion der partiellen Lautheit erzielt kleinere Einstellungsschwankungen und Interteilnehmervarianz. Sie setzt aber genau wie die Tonhaltigkeit eine eindeutige Trennung in tonalem Vorder- und rauschhaftem Hintergrund voraus. Ist diese Trennung möglich können psychoakustische Modelle der partiellen Lautheit Anwendung finden.
- Die ermittelte Asymmetrie in der Einstellung der Schallpegels höherer und tieferer Komponente entspricht nicht der Energiesummation innerhalb einer kritischen Bandbreite der Lautheit. Experimente zur Verifikation werden durchgeführt.

Literatur

- [DIN 45681, 2005] DIN 45681:2005-03 (2005). Akustik – Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen. Beuth Verlag, Berlin.
- [Vormann et al., 1998] Vormann, M., Schick, A., Meis, M., Klatte, M., & Mellert, V. (1998). Tonhaltigkeit aus psychophysikalischer Sichtweise: Untersuchung zur Versuchspersoneninstruktion bei der Bewertung der Tonhaltigkeit. In *Fortschritte der Akustik - DAGA '98* Oldenburg: DEGA.
- [Vormann et al., 2000] Vormann, M., Verhey, J., Mellert, V., & Schick, A. (2000). Ein adaptives Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Tonhaltigkeit. In *Fortschritte der Akustik - DAGA 2000* Oldenburg: DEGA.