

Die Ausprägtheit der Tonhöhe, das Auflösungsvermögen des Gehörs & die Bildung auditorischer Objekte

Hans Hansen und Reinhard Weber

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

Email: hans.hansen@uni-oldenburg.de

Ein Ton hat mehrere Attribute: die Tonhöhe, die Lautheit und seine Klangfarbe. Ein Teil der Klangfarbe ist die Ausprägtheit der Tonhöhe (AdT). Die Tonhöhe kann nicht nur auf der Skala „hoch-tief“ angeordnet, sondern auch auf der Skala „stark-schwach“ angeordnet werden. Die Hypothese, die die folgenden Experimente untersuchen, ist dass der AdT das perzeptuelle Korrelat der ebenmerklichen Unterschiede der Frequenz ist. Hier für werden zwei Experimente durchgeführt – einmal ein Experiment zur perzeptuellen Trennung (Segregation) eines Tons von einem Schmalbandrauschen durch die AdT und dann die Messung der ebenmerklichen Unterschiede in der Frequenz, der im ersten Experiment verwendeten Stimuli.

Segregationsexperiment

In diesem Experiment wird Schmalbandrauschen und ein auf dessen Mittenfrequenz f_c überlagerter Ton verwendet. Das Schmalbandrauschen hat eine kleinere AdT als ein reiner Ton [Fastl & Stoll, 1979]. Mit steigendem Signal-Rausch-Abstand (SNR) wird die Tonhöhe ausgeprägter, bzw. die Tonhöhe „verbreitert“ sich mit sinkendem SNR [Fales & McAdams, 1994].

Versuchsdesign

Zur Untersuchung der Stimuli hinsichtlich der Trennung zwischen der Wahrnehmung von tonhaften Rauschen und Ton und Rauschen auf Basis der AdT wird ein objektives Ja/Nein Experiment verwendet. Zusätzlich werden die Stimuli „geroved“ dargeboten, damit Experiment nicht von der Lautheit des Tons beeinflusst wird.

Versuchsstimuli

Die Mittenfrequenzen f_c sind 250, 500, 1k, 2k und 4k Hz. Die Bandbreite des Rauschen Δf_c ist 50, 100, 150, 200 und 250 Hz bei der jeweiligen f_c . Das Rauschen wird bei 60 dB dargeboten und wird für diesen Versuch in drei Versionen pro f_c gesampled. Der SNR beträgt -5/-2/-0.5/+1/+2.5/+4/+7 dB SPL. Für die f_c 's 250 und 500 Hz ist der SNR um 3 dB geringer. Die Stimuli wurden „geroved“ (± 6 dB SPL) über Kopfhörer für eine Dauer von 1,5 s dargeboten.

Versuchsdurchführung & TeilnehmerInnen

Für jeden der 40 Stimuli (5 Mittenfrequenzen \times (7 + 1 Signal-Rauschabstände)) wurde von jedem Proband 42 mal die Frage beantwortet, ob der Ton vom Rauschen klar separiert ist. An jedem Versuchstag wurde von den

TeilnehmerInnen zuerst 16 Stimuli als Training bewertet.

Am ersten Versuchstag nahmen 16 Probanden (10w/ 6m) teil. Von diesen 16 meldeten sich 11 zur Versuchswiederholung (7w/ 4m). Versuch und Versuchswiederholung lagen drei Monate auseinander. Das mittlere Alter betrug 27 Jahre.

Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse des Versuchs exemplarisch für 250 Hz und 500 Hz. Es zeigt sich deutlich die Trennung von Ton und Rauschen (ansteigendes d') mit zunehmenden SNR. Schmalbandrauschen wird als tonhaftes Rauschen wahrgenommen, da die *probit* transformierten Häufigkeiten für $-\infty < 0$ sind.

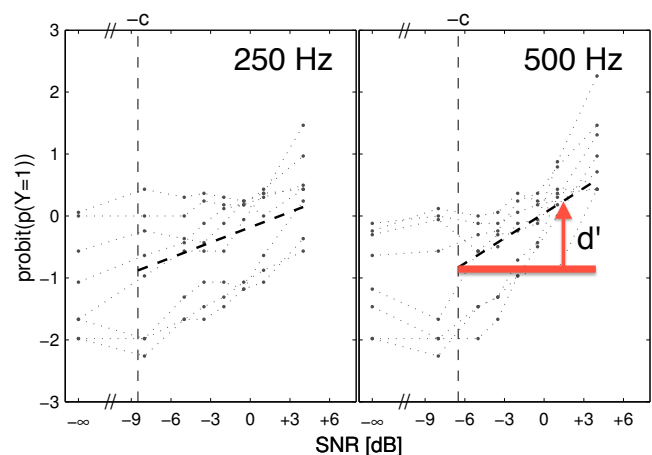


Abbildung 1: Versuchsergebnisse: 250 & 500 Hz. VP-Antworten aufgetragen über SNR. Relative Antworthäufigkeiten $[0, 1]$ werden *probit* transformiert $[-\infty, +\infty]$. $-c$ gibt den SNR für den Ton plus Rauschen an, welches in der Identifikationsaufgabe nicht vom reinen Rauschstimulus unterschieden werden kann. Ab diesem Wert steigt das d' linear mit dem SNR an.

Ein ähnliches Verhalten wie für die 250 Hz und 500 Hz Stimuli ergibt sich auch für die höheren Mittenfrequenzen: bei 1 kHz ist der Anstieg mit dem SNR noch stärker als für die Frequenzen in Abbildung 1.

Ebenmerkliche Unterschiede in der Frequenz

Nun werden die ebenmerklichen Unterschiede in der Frequenz einer Auswahl von SNRs aus dem ersten Experiment und zusätzlich noch die des reinen Tons bzw. des

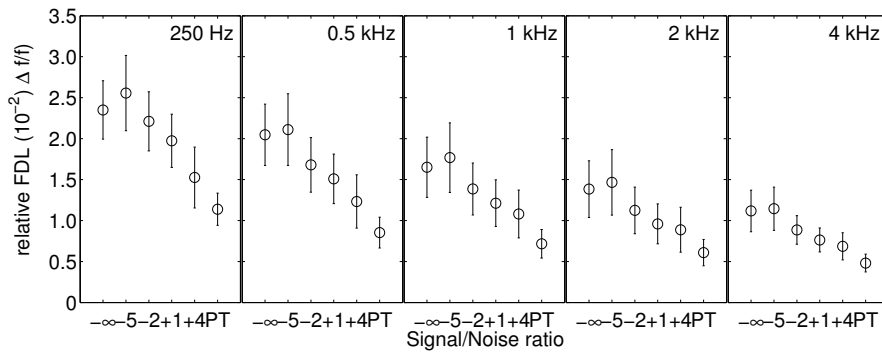


Abbildung 2: Relative ebenmerkliche Unterschiede in der Frequenz über dem SNR (Mittelwerte und Standardfehler über alle TeilnehmerInnen).

Schmalbandrauschens mit der jeweiligen Mittenfrequenz gemessen.

Versuchsdesign

Stimuli

Die Mittenfrequenzen und die Bandbreite der Stimuli sind mit denen des Segregationsexperiments identisch. Die SNRs sind hier für alle Frequenzen gleich: -5/-2/+1/+4 dB SPL. Zusätzlich wird nur das SNR ($-\infty$) und das reine Ton vermessen (PT). Die Stimuli wurden über Kopfhörer für eine Dauer von 500 ms dargestellt.

Versuchsdurchführung & TeilnehmerInnen

Zur Bestimmung der ebenmerklichen Unterschiede in der Frequenz wurde ein adaptives 3 AFC (1-up, 2-down) verwendet. Das Ergebnis der Messung sind die Mittelwerte der letzten sechs Umkehrpunkte. Vor dem Experiment wurde ein Testexperiment zur Bestimmung des ebenmerklichen Unterschiedes in der Frequenz für einen 1 kHz Ton durchgeführt. Die TeilnehmerInnen nahmen an drei Testblöcken an unterschiedlichen Tagen teil. Pro Block wurde bei allen Frequenzen und jeweils zwei SNRs verzahnt gemessen.

An dem Versuch nahmen 8 TeilnehmerInnen teil (1 w/7 m). Das mittlere Alter betrug 30,5 Jahre.

Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Messung. Eine ANOVA mit Messwiederholung bestätigt die Variation des ebenmerklichen Unterschiedes in der Frequenz mit der f_c ($F(1.67, 11.71) = 14.08, p < .01$), dem SNR ($F(1.21, 8.48) = 17.67, p < .01$), und mit $\text{SNR} \times f_c$ ($F(3.71, 26.12) = 5.39, p < .01$).

Zusammenfassende Diskussion

Abbildung 3 bringt die Ergebnisse des Segregationsexperiments und der Bestimmung des ebenmerklichen Unterschiedes in der Frequenz zusammen. Die Korrelation ist hoch ($r = -.89, p < .01$).

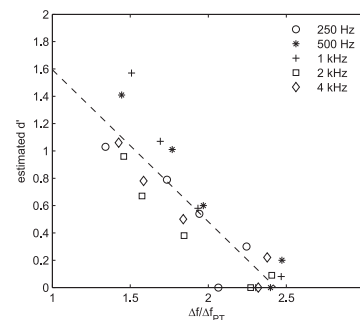


Abbildung 3: Vergleich der Ergebnisse des Segregationsexperiments mit den Messungen der ebenmerklichen Unterschiede in der Frequenz. Hier wird das Maß für die Trennung („estimated d' “) gegenüber dem Anstieg des ebenmerklichen Unterschiedes in der Frequenz bezogen auf den ebenmerklichen Unterschied des jeweiligen reinen Tons dargestellt.

1. Die Hypothese, dass die ebenmerklichen Unterschiede in der Frequenz das perzeptuelle Korrelat der AdT sind konnte bestätigt werden, da das Segregationsexperiment auf Basis der AdT durchgeführt wurde („Verbreiterung der Tonhöhe“), und dies mit dem Anstieg der ebenmerklichen Unterschiede in der Frequenz hoch korreliert. Die Messung der ebenmerklichen Unterschiede wird daher als Verfahren für die Bestimmung der AdT vorgeschlagen.
2. In Bezug auf die Bildung von Hörobjekten bedeutet dies, dass einmal die Tonhöhe dem Rauschen zugeordnet wird und damit ein tonhaftes Rauschen wahrgenommen wird, und ein anderes Mal die Tonhöhe dem Ton zugeordnet wird, und so ein Ton und ein Rauschen getrennt wahrgenommen wird.

Literatur

- [Fales & McAdams, 1994] Fales, C. & McAdams, S. (1994). The fusion and layering of noise and tone: Implications for timbre in african instruments. *Leonardo Music J*, 4, 69–77.
- [Fastl & Stoll, 1979] Fastl, H. & Stoll, G. (1979). Scaling of pitch strength. *Hearing Res*, 1(4), 293–301.