

Ähnlichkeits- und JND-Messungen mit gemorphten Stimuli zur Klangfarbenwahrnehmung bei Schwer- und Normalhörenden

Suzan Emiroğlu, Birger Kollmeier

Medizinische Physik, Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, 26111 Oldenburg, Deutschland,

Email: suzan.emiroglu@mail.uni-oldenburg.de

Einleitung

Sensorineural Schwerhörige (auch nach Hörgeräteversorgung) haben häufig das Problem einer Klangfarbenverzerrung. Dies beeinträchtigt nicht nur die Wahrnehmung von Musik, sondern auch die Objekterkennung im allgemeinen. Somit dient ein besseres Verständnis der Wahrnehmung von Klangfarben der Verbesserung vorhandener auditorischer Modelle und Hörgeräte. Klangfarbe vereint alle akustischen Attribute, die nicht ausschließlich der Wahrnehmung von Tonhöhe, Lautheit oder Länge zugeordnet werden; d.h. Klangfarbe ist eine multidimensionale Empfindungsgröße. Die meisten bisherigen Studien quantifizierten durch Ähnlichkeitsbewertungs-Experimente die dominierenden akustischen Attribute bei Normalhörenden und studierten die Erkennung von Musikinstrumenten bei CI-Trägern, vernachlässigten aber die akustisch Schwerhörigen.

Mit dem Ziel, Wahrnehmungs-Unterschiede zwischen Normal- (NH) und Schwerhörenden (SH) bezüglich zeitlicher und spektraler physikalischer Dimensionen (z.B. spektraler Schwerpunkt, spektrale Fluktuation) zu bestimmen, wurden psychoakustische Messungen zur Klangfarbenwahrnehmung sowohl an NH als auch an SH durchgeführt. Durch lineare Interpolation von spektralen Parametern wurden Klänge von Musikinstrumenten entlang dieser Dimensionen ineinander übergeblendet („gemorpht“), wodurch Stimulus-Kontinua zwischen natürlichen Instrumenten entstanden. Ein Paarvergleich-Pilotversuch mit 8-stufiger Skala, in dem die Versuchspersonen die Ähnlichkeit der präsentierten Klänge beurteilten, ergab ähnliche Bewertungen durch NH- und SH-Probanden (der Darbietungspegel war für die SH um 15-30dB höher). Die größten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen ergaben sich beim zwischen Saxophon und Cello liegenden Klangfarben-Kontinuum. Die Klänge dieses Kontinuums haben nahezu konstante spektrale Schwerpunkte und Anschwellzeiten und unterscheiden sich vornehmlich durch zeitliche Fluktuation. Das eigentliche Experiment, das im Folgenden vorgestellt wird, ermittelte einen gerade noch wahrnehmbaren Unterschied (JND) der Klangfarbe.

Verwendete Stimuli

Es wurden drei Musikinstrumentenpaare so gewählt, dass jedes Paar möglichst unterschiedlich in einer dominierenden physikalischen Dimension [1] und ähnlich in den anderen ist: Posaune und Waldhorn (unterscheiden sich in der „spektralen Energieverteilung“), Saxophon und Cello (unterschiedlich in „spektraler Fluktuation“) und Flöte und Trompete (unterschiedlich im „Einschwingvorgang“). Von

diesen Instrumenten wurden zunächst akustische Aufnahmen [2] des Tons C4 mittels der DAFX-toolbox [3] synthetisiert. Da die wahrgenommene Länge des Klangs stark von der Einschwingdauer abhängt [4], wurde die Einschwingphase abgeschnitten. Vom übrigen Signal wurde ein Ausschnitt von 0,7s verwendet und mit linearen Flanken von je 0,1s versehen. Daraufhin wurden sie in Pegel und Grundfrequenz ausgeglichen und paarweise mit der DAFX-toolbox in 101 Schritten gemorpht [3]. Die gemorphten Stimuli wurden nach ihrem „Morphparameter“ α benannt, der zwischen 0 (entspricht z.B. dem ursprünglichen Waldhorn) und 1 (z.B. Posaune) in Abständen von 0,01 liegt.

Versuchsaufbau

Die Geräuscharbietung erfolgt diotisch über Kopfhörer Sennheiser HD580 in einer schallisolierten Kabine. Die Länge von Test- und Referenzsignal beträgt 0,7s, getrennt durch eine Pause von 0,5s. Alle Signale werden vor der Messung digital auf einem PC erzeugt, über eine digitale I/O-Karte (RME Digi96 PAD) ausgegeben, optisch an einen 24bit DA-Wandler (RME ADI-8 PRO) weitergegeben und auf 65dB SPL (NH) kalibriert abgespielt.

In einem adaptiven 3-alternative-forced-choice Diskriminations-Experiment wurden jeweils zwei identische Referenzsignale mit $\alpha=0$ und ein Testsignal mit adaptierendem α angeboten. Durch ein 1-up-2-down Verfahren wurde bei 20 normalhörenden und 18 schwerhörenden Versuchspersonen in jedem Instrumentenkontinuum das α bestimmt, bei dem mit 71% Wahrscheinlichkeit der Teststimulus richtig gewählt wird. Dieses α repräsentiert somit eine Klangfarben-JND. Nach drei Trainingsmessungen wurden pro Instrumentenkontinuum zwei Durchgänge gemessen, so dass die insgesamt neun Messungen pro Versuchsperson eine Stunde inkl. Pause nicht überschritten. Die SH wurden an zwei Terminen gemessen: einmal mit den o.g. Stimuli bei linear angehobenem Pegel von 80-95dB SPL (so dass der Klang von der Versuchsperson als „angenehm- und mittellaut“ wahrgenommen wurde); ein weiteres Mal mit Stimuli, bei denen der Pegel, ausgehend von 55dB SPL, mit einer Gammaton-Filterbank [5] frequenzabhängig um den halben Hörverlust der Versuchsperson erhöht wurde.

Ergebnisse

Das o.g. Pilotexperiment ergab, dass die Ähnlichkeitsbewertungen nicht vom absoluten Morphparameter α sondern nur von der Morphparameter-Differenz $\Delta\alpha$ der zwei Vergleichsklänge abhängen. Im Folgenden steht deshalb das gemessene α (im Vergleich zum Referenzklang mit $\alpha=0$) für die α -Differenz zweier beliebiger gemorphter Klänge desselben Instrumentenkontinuums.

Die Messergebnisse sind in Abb.1 dargestellt. Eine direkte Korrelation der JNDs mit dem Hörverlust der SH konnte nicht gefunden werden, weder mit dem mittleren Sinuston-Hörverlust bei 0,5, 2 und 8kHz (s. Abb.1 rechts) oder dem Hörverlust einzelner Frequenzen noch mit der Art (flach/steil/diagonal) oder der Steigung des Hörverlusts. Zwei SH mit mittlerem Hörverlust von 46,7 bzw. 52,5dB zeigen besonders hohe JNDs (s. Abb.1 rechts), was an geringerer Konzentration gelegen haben kann. Diese Messungen wurden nach Arbeitsschluss am späten Nachmittag durchgeführt und weisen große Test-Retest-Schwankungen auf.

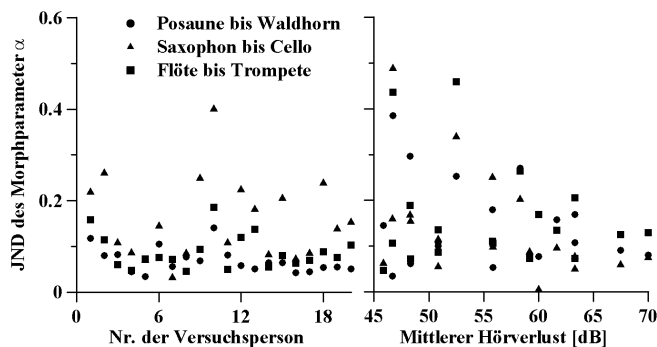


Abbildung 1: Klangfarben-JND (ausgedrückt als Morphparameter) für Normalhörende (links) und Schwerhörnde mit Hörverlust-angepasstem Pegel als Funktion des jeweiligen mittleren Hörverlusts bei 0,5, 2 und 8kHz (rechts). Jeder dargestellte Datenpunkt ist das Mittel zweier Messpunkte. Der Morphparameter stellt die JND(71%) der Klangfarbe im jeweiligen Instrumentenkontinuum als Verhältnis zu den beiden Ausgangsklängen dar.

Der Median der Klangfarben-JND ist bei den NH $\alpha_1=5,9\%$ im Posaune-Waldhorn-Kontinuum, $\alpha_2=13,0\%$ (Saxophon-Cello) und $\alpha_3=7,4\%$ (Flöte-Trompete) (Abb.2). Die entsprechenden Ergebnisse der SH für Stimuli mit Hörverlust-angepasstem Pegel sind $\alpha_1=11,1\%$, $\alpha_2=10,6\%$, $\alpha_3=12,2\%$ (Abb.2), und für Stimuli mit breitbandig angehobenem Pegel $\alpha_1=11,1\%$, $\alpha_2=12,9\%$, $\alpha_3=10,9\%$.

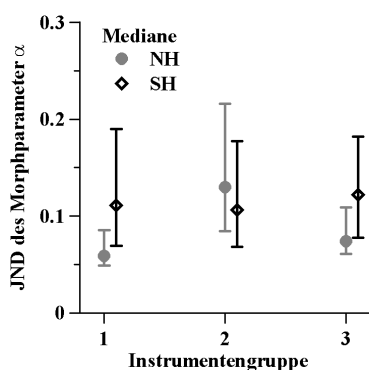


Abbildung 2: Mediane mit 1. und 3. Quartil der JND-Messungen für NH (rot) und SH (schwarz), aufgeteilt in die Instrumentenkontinua (1=Posaune-Waldhorn, 2=Saxophon-Cello, 3=Flöte-Trompete).

Ein Wilcoxon-Rangsummentest ergab, dass die Mediane der SH bei Hörverlust-angepasstem Pegel im Vergleich zu den NH im Posaune-Waldhorn- und Flöte-Trompete-Kontinuum signifikant größer sind ($P<0,05$), nicht aber im Saxophon-Cello-Kontinuum. Ein Vergleich der Messergebnisse bei

unterschiedlichen Hörverlustarten (flach/steil/diagonal) ergab keine signifikanten Unterschiede. Rangsummentests aller Messungen der SH bei Vergleich der zwei Darbietungspegel ergaben keine signifikanten Unterschiede. Ein Unterschied wurde aber bei der Gruppe mit steilem Hörverlust im Saxophon-Cello-Kontinuum gefunden: Die JND sank hier signifikant von der Messung mit breitbandig angehobenem zu Hörverlust-angepasstem Pegel.

Diskussion und Ausblick

Die o.g. Messungen zeigen, dass die Klangfarben-JNDs von SH bei bestimmten Musikinstrumenten (Posaune-Waldhorn und Flöte-Trompete) signifikant größer als die von NH sind. Ein JND-Vergleich zwischen NH und SH ist abhängig von der Klangfarbendimension. Beim Saxophon-Cello-Kontinuum konnten bei Hörverlust-angepasstem Pegel keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen festgestellt werden. Wegen dieser Musikinstrumenten-abhängigen Unterschiede soll in folgenden JND-Messungen die Trennung von spektraler und zeitlicher Klangfarben-JND quantifiziert werden, d.h. einerseits sollen gemorphte Klänge mit (künstlich aufgeprägtem) identischem Langzeitspektrum, andererseits identische Klänge, denen unterschiedliche Spektren aufgeprägt wurden, als Stimuli dienen.

Manche SH können bei breitbandig angehobenem Pegel das Saxophon-Cello-Kontinuum deutlich schlechter unterscheiden als NH. Die JNDs der SH mit Steilabfall sanken aber signifikant bis in den NH-Bereich bei den Messungen mit Hörverlust-angepasstem Pegel. Dieses Ergebnis soll durch weitere Messungen an NH mit Stimuli, die einen Hörverlust (insbesondere einen Steilabfall) simulieren, verfolgt werden.

Manche SH geben Wertungen und besitzen JNDs ähnlich zu NH, unabhängig vom Hörverlust, andere weichen stark vom Mittel ab. Um die verminderte Hörleistung in der Klangfarbenwahrnehmung von anderen kognitiven Leistungen wie Konzentration zu trennen, sollen in Zukunft Konzentrationstests in die Messungen eingebaut werden. Die o.g. Messungen sollen weiter ausgebaut werden, so dass die Klangfarben-JND als skalierbare Größe für Hörgeräte-Messungen und -Anpassung genutzt werden kann.

Gefördert vom Land Niedersachsen und der DFG (Internationales Graduiertenkolleg 591 „Neurosensorik“).

Literatur

- [1] J.M. Grey: Multidimensional perceptual scaling of musical timbres. *JASA* **61** (5) pp.1270-1277, 1977.
- [2] Referenz zu "Electronic Music Studios, Iowa University" URL: <http://theremin.music.uiowa.edu/MIS.html>
- [3] X. Amatriain, J. Bonada, A. Loscos und X. Serra: Spectral Processing. In: U. Zölzer (Ed.), *DAFX: Digital Audio Effects*, John Wiley & Sons, Ltd, 2002.
- [4] S. McAdams *et al.*: Perceptual scaling of synthesized musical timbres: Common dimensions, specificities, and latent subject classes. *Psychol. Res.* **58** (1995), 177-192.
- [5] V. Hohmann: Frequency analysis and synthesis using a Gammatone filterbank. *Acta Acustica* **88** (2002), 433-442.