

# Klangfarbendiskrimination bei Schwer- und Normalhörenden

Suzan Emiroğlu, Birger Kollmeier

Medizinische Physik, Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, D-26111 Oldenburg, Tel.: 0441/7983632, Email: suzan.emiroglu@uni-oldenburg.de

## Einleitung

Sensorineural Schwerhörige haben häufig das Problem einer Klangfarben-Verzerrung. 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. Zusätzlich soll in der vorliegenden Studie eine weitverbreitete Hypothese getestet werden, die behauptet, dass die reduzierte Frequenzselektivität bei Schwerhörigen zu einer reduzierten Fähigkeit führt, Klangfarben und somit Musikinstrumente zu unterscheiden [1].

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 (z.B. [2]) und studierten die Erkennung von Musikinstrumenten bei CI-Trägern (z.B. [3]), vernachlässigten aber die akustisch Schwerhörigen, d.h. Hörgeräteträger. Um die kleinen Wahrnehmungs-Unterschiede zwischen akustisch Schwerhörigen und Normalhörenden zu bestimmen, wurde ein Verfahren zur Ermittlung einer objektiven Vergleichsgröße unterschiedlicher Klangfarben entwickelt [4] und in der vorliegenden Studie angewandt. Mit dem Ziel, Unterschiede zwischen Normal- (NH) und Schwerhörigen (SH) bezüglich zeitlicher und spektraler physikalischer Dimensionen (z.B. spektraler Schwerpunkt, spektrale Fluktuation) zu bestimmen, wurden psychoakustische Messungen zur Klangfarbendiskrimination 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. Das Experiment, das im Folgenden vorgestellt wird, ermittelte einen gerade noch wahrnehmbaren Unterschied (JND) der Klangfarbe.

## Verwendete Stimuli

Es wurden drei Musikinstrumentenpaare so gewählt, dass sie die dominierenden physikalischen Dimensionen [2] abdecken: Posaune & Waldhorn, Saxophon & Cello und Flöte & Trompete. Von diesen Instrumenten wurden zunächst akustische Aufnahmen [5] des Tons C4 mittels der DAFX-toolbox [6] synthetisiert. Da die wahrgenommene Länge des Klangs stark von der Einschwingdauer abhängt [7], 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 [6]. Die gemorphten Stimuli wurden nach ihrem „Morphparameter“  $\alpha$  benannt, der dem Anteil des einen ursprünglichen Instruments im gemorphten Klang entspricht und zwischen 0 (entspricht z.B. dem ursprünglichen Waldhornklang) und 1 (z.B. Posaune) in Abständen von 0,01 liegt.

## Versuchsaufbau

Die Geräuschdarbietung 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  $\alpha$  angeboten. Der Proband musste ermitteln, welches der drei Intervalle "anders klang" als die anderen zwei. Durch ein 1-up-2-down Verfahren wurde bei 20 NH und 14 SH in jedem Instrumentenkontinuum das  $\alpha$  bestimmt, bei dem mit 71% Wahrscheinlichkeit der Teststimulus richtig gewählt wird. Dieses  $\alpha$  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 Stimuli wurden den NH bei 65dB SPL präsentiert; für die SH wurde der Pegel, ausgehend von 55dB SPL, mit einer Gammaton-Filterbank [8] frequenzabhängig um den halben individuellen Hörverlust erhöht.

## Ergebnisse

Die Mediane der Ergebnisse der NH bzw. SH sind in Abb. 1 dargestellt. Im Posaune-Waldhorn-Kontinuum sind die Mittelwerte der Klangfarben-JND (ausgedrückt als Morphparameter)  $\alpha(\text{NH})=7,5\%$  für die 20 NH und  $\alpha(\text{SH})=14,2\%$  für die 14 SH. Die entsprechenden Ergebnisse im Saxophon-Cello-Kontinuum sind  $\alpha(\text{NH})=17,1\%$  und  $\alpha(\text{SH})=15,8\%$  und im Flöte-Trompete-Kontinuum  $\alpha(\text{NH})=9,2\%$  und  $\alpha(\text{SH})=14,3\%$ . Ein Wilcoxon-Rangsummentest ergab, dass die Mediane der NH sowohl im Posaune-Waldhorn- als auch im Flöte-Trompete-Kontinuum signifikant kleiner als die der SH sind ( $P<0,05$ ). Im Saxophon-Cello-Kontinuum ergab der Test keine Signifikanzen.

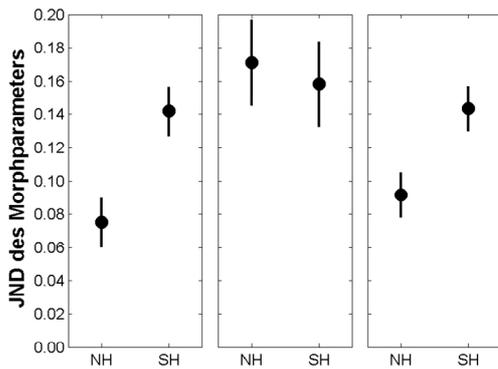


Abbildung 1: Mediane der Klangfarben-JND (ausgedrückt als Morphparameter) mit 95%-Konfidenz-Intervallen für 20 Normalhörende (NH) und 14 Schwerhörende (SH), aufgeteilt in die Instrumentenkontinua Posaune-Waldhorn (links), Saxophon-Cello (Mitte) und Flöte-Trompete (rechts). Der Morphparameter stellt die JND(71%) der Klangfarbe im jeweiligen Instrumentenkontinuum als Verhältnis zu den beiden Ausgangsklängen dar.

Die schwerhörigen Probanden wurden entsprechend der Form ihres Tonaudiogramms nochmals in drei Gruppen unterteilt: es gab 6 Probanden mit flachem (fl), 4 mit diagonalem (dg) und 4 mit steilem (st) Hörverlust. Hierbei weisen die Audiogramme der steilen Hörverluste in mindestens einer Oktave zwischen 1 und 4 kHz einen Abfall von größer als 20dB/Oktave auf. Durch die Aufteilung ergaben sich für die SH folgende Mittelwerte der Klangfarben-JND:  $\alpha(\text{fl})=9,7\%$ ,  $\alpha(\text{dg})=11,8\%$  und  $\alpha(\text{st})=23,2\%$  im Posaune-Waldhorn-,  $\alpha(\text{fl})=10,8\%$ ,  $\alpha(\text{dg})=10,7\%$  und  $\alpha(\text{st})=28,6\%$  im Saxophon-Cello-, und  $\alpha(\text{fl})=12,5\%$ ,  $\alpha(\text{dg})=8,6\%$  und  $\alpha(\text{st})=22,8\%$  im Flöte-Trompete-Kontinuum.

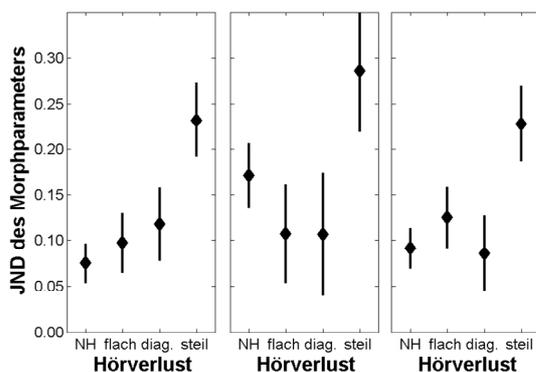


Abbildung 2: Mediane der Klangfarben-JND mit 95%-Konfidenz-Intervallen für die Probandengruppen Normalhörende ( $n=20$ ) und Schwerhörende mit flachem ( $n=6$ ), diagonalem ( $n=4$ ) bzw. steilem ( $n=4$ ) Hörverlust, aufgeteilt in die Instrumentenkontinua Posaune-Waldhorn (links), Saxophon-Cello (Mitte) und Flöte-Trompete (rechts).

Ein Wilcoxon-Rangsummentest ergab, dass die Mediane der SH mit steilem Hörverlust sowohl im Vergleich zu den NH als auch im Vergleich zu den flachen und diagonalen SH in allen drei Instrumentenkontinua signifikant größer sind ( $P<0,05$ ). Die Mediane der einzelnen Probandengruppen mit den jeweiligen 95%-Konfidenzintervallen, aufgeteilt in die drei Instrumentenkontinua, sind in Abb.2 dargestellt. Im Saxophon-Cello-Kontinuum sind die mittleren JNDs der flachen und diagonalen SH (nicht-signifikant) kleiner als die der NH.

## Diskussion und Ausblick

Die o.g. Messungen zeigen, dass die Klangfarben-JNDs von SH mit steilem Hörverlust in allen Musikinstrumentengruppen signifikant größer als die von NH und von SH mit flachem oder diagonalem Hörverlust sind. Das Ausmaß dieser JND-Unterschiede und der JND-Vergleich zwischen den NH und SH mit flachem und diagonalem Hörverlust ist abhängig vom Instrumentenkontinuum und damit von der Klangfarbendimension. Der Trend, dass SH mit flachem und diagonalem Hörverlust niedrigere JNDs als NH aufweisen, liegt wahrscheinlich an der akustischen Verstärkung der Stimuli für die SH. Dadurch wurden womöglich bestimmte Klangfarben-Charakteristika prägnanter und für die Probanden deutlicher hörbar. Das bedeutet, dass bei der Präparation der Stimuli für SH bedacht werden muss, ob ein angemessener Vergleich unterschiedlicher Hörergruppen gewährleistet ist. Andererseits stellt dieses Ergebnis eine Möglichkeit in Aussicht, bestimmte Klangfarben- und damit Objekteigenschaften durch eine bestimmte akustische Verstärkung z.B. in Hörgeräten zu verstärken, und damit den Hörgeräteträgern eine Objektrennung zu erleichtern. Dieser Gedanke soll auch in zukünftigen Messungen verfolgt werden: Bei Experimenten zur Klangfarbendiskrimination im Störgeräusch sollen die Probanden aktiv die musikalischen Klänge von unterschiedlichen Hintergrundrauschen trennen und die Instrumentenklänge wie oben geschildert vergleichen.

Gefördert von der DFG (Internationales Graduiertenkolleg Neurosensorik und SFB/TR 31 „Das aktive Gehör“).

## Literatur

- [1] B.C.J. Moore (2003). An Introduction to the Psychology of Hearing. Fifth Edition. Academic Press.
- [2] J.M. Grey (1977). Multidimensional perceptual scaling of musical timbres. *JASA* **61** (5), 1270-1277.
- [3] K. Gfeller *et al.* (2002). Effects of Frequency, Instrumental Family, and Cochlear Implant Type on Timbre Recognition and Appraisal. *Ann Otol Rhinol* **111**, 349-356.
- [4] S. Emiroglu und B. Kollmeier (submitted): Morphing as a method to determine just-noticeable differences (JNDs) of timbre.
- [5] Referenz zu "Electronic Music Studios, Iowa University" URL: <http://theremin.music.uiowa.edu/MIS.html>
- [6] X. Amatriain *et al.* (2002). Spectral Processing. In: U. Zölzer (Ed.), DAFX: Digital Audio Effects, John Wiley & Sons.
- [7] S. McAdams *et al.* (1995). Perceptual scaling of synthesized musical timbres: Common dimensions, specificities, and latent subject classes. *Psy Res* **58**, 177-192.
- [8] V. Hohmann (2002). Frequency analysis and synthesis using a Gammatone filterbank. *Acta Acustica* **88**, 433-442.