

Dependencies of binaural auralization via headphones on listening conditions

(Abhängigkeit der binauraler Auralisation über Kopfhörer von den Abhörbedingungen)

Stephan Werner¹, Florian Klein¹ und André Siegel¹

¹ *Institut für Medientechnik, Technische Universität Ilmenau,
E-Mail: {stephan.werner, florian.klein, andre.siegel}@tu-ilmenau.de*

Abstract

Es wird ein Hörtest zur Beurteilung der wahrgenommenen Schalleinfallrichtung und Externalisierung eines Schalleignisses vorgestellt. Dazu wird eine individualisierte, statische, binaurale Auralisation über Kopfhörer verwendet. Es werden Schallquellen an verschiedenen Positionen in zwei unterschiedlichen Aufnahmeräumen synthetisiert. Den Versuchspersonen werden sowohl die zu dem Abhörraum passenden Schalleignisse als auch die Schalleignisse aus dem jeweils anderen Raum dargeboten. Es wird vermutet, dass die Bewertung der Externalisierung und Lokalisierung der Schalleignisse aus dem jeweils anderen Raum schlechtere Ergebnisse liefert als bei Übereinstimmung von Aufnahme- und Abhörraum.

Motivation

Anhand von anekdotischen Beobachtungen wird vermutet, dass der Grad der Externalisierung und die Lokalisationsgenauigkeit bei einer vollständig individualisierten Kopfhörerwiedergabe von den Abhörbedingungen abhängig ist [1]. Es werden folgende Hypothesen aufgestellt (Alternativhypothesen H1):

H1-A: Der Grad der Externalisierung ist geringer, wenn die Raumakustik des Abhörraumes mit der Raumakustik des wiederzugebenden Raumes nicht übereinstimmt.

H1-B: Stimmen die Raumakustik des Abhörraumes und des wiederzugebenden Raumes nicht überein, kommt es vermehrt zu Fehllokalisationen.

H1-C: Der Grad der Externalisierung ist abhängig von der wiederzugebenden Schalleinfallrichtung.

In Hörversuchen sollen daher mögliche Abhängigkeiten einer binauralen Wiedergabe über Kopfhörer näher untersucht werden.

- Abhängigkeit vom Abhörraum,
- Abhängigkeit von visuellen Merkmalen,
- Abhängigkeit von der Schalleinfallrichtung.

Der hier vorgestellte Hörtest umfasst erste Untersuchungen zur Abhängigkeit vom Abhörraum. In weiteren Hörtests werden die anderen Abhängigkeiten untersucht.

Binaurales System

Als Wiedergabeverfahren wird eine statische binaurale Auralisation über Kopfhörer verwendet [1]. Das binaurale System umfasst die individuelle Entzerrung der Kopfhörerübertragungsfunktionen (HPTFs) und die Erzeugung individualisierter binauraler Raumimpulsantworten (BRIRs) für die wiederzugebenden Schallquellenpositionen im Raum. Die

Messungen der individuellen BRIRs und HPTFs werden mittels Sondenmikrofonierung in Trommelfellnähe durchgeführt [2]. Für die binaurale Auralisation wird ein individuell entzerrter Stax Lambda Pro Kopfhörer verwendet.

Hörtest

Aufnahme- und Abhörräume

Als Aufnahme- und Abhörräume kommen das Hörlabor (Raum 1; EBU Tech. 3276) und ein leerer Seminarraum (Raum 2) der Technischen Universität Ilmenau zur Anwendung. Die verwendeten Räume unterscheiden sich stark in ihren baulichen und raumakustischen Eigenschaften. Die mittlere Nachhallzeit T60 des Hörlabors am Hörort beträgt 0,2 s. Die mittlere Nachhallzeit T60 des Seminarraumes am Hörort beträgt 1,4 s.

Schallquellenpositionen

Für die Bestimmung der BRIRs werden Messungen am Hörort der Versuchspersonen (Vpns) vorgenommen. Die Testsignale werden über Lautsprecher (Genelec 1030A) an verschiedenen Positionen der beiden Aufnahmeräume ausgegeben. Abbildung 1 verdeutlicht die zu messenden Positionen. Die Positionen sind so gewählt, dass Vorne-Hinten-Fehllokalisationen (0° und 180°), Fehler innerhalb des Cone of Confusion (-30° bzw. 120°) und Lokalisationsungenauigkeiten (z.B. 90° und 120°) ausgewertet werden können. Der Abstand vom Kopfmittelpunkt zu jeder Lautsprecherposition beträgt ca. 2,2 m. Die Lautsprecher sind in Ohrhöhe angeordnet und auf die Vpn ausgerichtet.

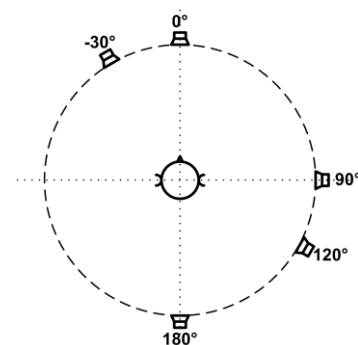


Abbildung 1: Lautsprecherpositionen für die binaurale Wiedergabe über Kopfhörer.

Testsignale

Als Testsignale kommen eine trockene Gesangsaufnahme und ein trockenes Trompetenstück mit breiter Verteilung der Signalenergie über das Spektrum (Abtastfrequenz 44,1 kHz) zur Anwendung. Die Dauer der einzelnen Testsignale beträgt jeweils sechs Sekunden.

Versuchspersonen

Der Hörtest wird mit acht normalhörenden Vpns im Alter von 24 bis 32 Jahren, drei weibliche und fünf männliche Vpns, durchgeführt. Die Vpns sind erfahren in der Teilnahme an Tests. Die Vpns werden vor jedem Durchgang des Hörtests trainiert [3].

Training der Vpns

Die Vpns können selbständig aus einer zufälligen und unbekanntem Anordnung der im Hörtest verwendeten Testitems auswählen und diese anhören. Die Vpns können zwischen den einzelnen Trainingsitems frei Hin- und Herspringen und jedes Item mehrfach anhören. Die Vpns sollen zusätzlich für jedes Trainingsitem den Antwortbogen ausfüllen. Eine Trainingssitzung dauert ca. 20 Minuten. Die Trainingssitzungen sind jedem Hörtestdurchgang vorangestellt. Die Vpns sollen sich somit eine interne Referenz zu den Begriffen Externalisierung und Lokalisierung bilden können. Als einzige externe Referenz werden die beiden trockenen Testsignale bei diotischer Kopfhörerwiedergabe dargeboten.

Antwortbogen

Abbildung 2 zeigt den verwendeten Antwortbogen für jedes Testitem. Der Antwortbogen ist an Experimente von Hammershøi et al. [4], [5] angelehnt. Die wahrgenommene Schalleinfallrichtung kann durch Auswahl der jeweiligen Richtung von 1-12 angegeben werden. Zusätzlich kann die Vpn angeben, ob das Schallereignis in Kopfhöhe, oberhalb oder unterhalb der Kopfhöhe wahrgenommen wird. Die Externalisierung des Schallereignisses lässt sich durch Wahl des Mittelpunktes, des mittleren Kreises oder äußeren Kreises angeben. Das Bewertungskriterium Externalisierung ist an die Definitionen von Hartmann und Wittenberg [6] angelehnt. Den Vpns werden folgende Definitionen zur Externalisierung schriftlich vorgelegt: 1. Mittelpunkt: Die Schallquelle befindet sich vollständig in meinem Kopf oder ist sehr diffus; 2. innerer Kreis: Die Schallquelle ist extern. Sie befindet sich aber in der Nähe meiner Ohren oder meines Kopfes; 3. äußerer Kreis: Die Schallquelle ist sehr extern und gut lokalisierbar.

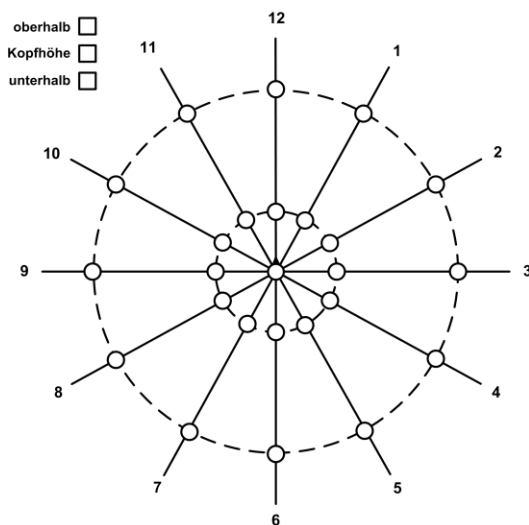


Abbildung 2: Antwortbogen zur Beurteilung der Externalisierung von Schallquellen; Mittelpunkt = Im-Kopf-Lokalisierung, innerer Kreis = „nahe am Kopf“ Externalisierung, äußerer Kreis = vollständige Externalisierung.

Hörtestdurchführung

Der Hörtest wird sowohl im Raum 1 als auch im Raum 2 getrennt voneinander durchgeführt. In jedem der beiden Durchgänge hört jede Vpn jede individuell synthetisierte Lautsprecherposition beider Aufnahmeräume sechsmal in zufälliger Reihenfolge. Zusätzlich werden durch Kunstkopfmessungen (Neumann KU-80) synthetisierte Positionen dargeboten. An den synthetisierten Positionen befinden sich Lautsprecher (stummgeschaltet). Der Hörtest ist dabei in zwei Teile unterteilt. Es werden jeweils drei Wiederholungen dargeboten. Die beiden Teile sind durch eine ca. fünfminütige Pause unterbrochen. Ein kompletter Durchgang dauert ca. 70 Minuten. Die Anzahl der Testitems für jede Vpn pro Durchgang beträgt 240. Die Vpn kann die Testitems mehrfach anhören. Die Vpns bewerten jedes Testitem mit Hilfe des Antwortbogens aus Abbildung 2 nach wahrgenommener Schalleinfallrichtung und Externalisierung.

Auswertung

Die Nullhypothesen nehmen an, dass keine Unterschiede im Grad der Externalisierung und in der Lokisationsgenauigkeit für beide Abhörräume bestehen. Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen werden als gleich angenommen. Die Verteilung der Grundgesamtheit wird als normalverteilt angenommen. Eine ausführliche statistische Auswertung aller Antwortbögen liegt zum jetzigen Zeitpunkt nicht vor.

Förderungshinweis

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Thüringer Kultusministeriums unter dem Förderkennzeichen B714-10045 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- [1] Klein, F. „Individualisierte Entzerrung von Aussenohrübertragungsfunktionen“. Diplomarbeit, Technische Universität Ilmenau, 2010.
- [2] Sass, R., Werner, S. und Siegel, A. „Comparison of recording methods for measurements of head-related transfer functions“. 26. Tonmeistertagung, VDT International Convention, Leipzig, 2010.
- [3] Merimaa, J. und Hess, W. „Training of Listeners for Evaluation of Spatial Attributes of Sound“. in Proceedings of 117th AES Convention, preprint 6237, San Francisco, 2004.
- [4] Hammershøi, D. „Human localization and performance measures“. 2nd International Symposium on Auditory and Audiological Research ISAAR, Denmark, 2009.
- [5] Møller, H., Sørensen, M. F., Jensen, C. B. und Hammershøi, D. „Binaural Technique: Do We Need Individual Recordings?“. J. Audio Eng. Soc., Vol. 44, No. 6, pp. 451-469, 1996.
- [6] Hartmann, W. M. und Wittenberg, A. „On the externalization of sound images“. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 99, Nr. 6, pp. 3678-3688, 1996.