

## Evaluierung eines virtuellen Kopfhörers bezüglich Lateralisation

M. Scherr<sup>1,2</sup>, K. Laumann<sup>1,3</sup>, G. Theile<sup>1</sup>, G. Krump<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Rundfunktechnik GmbH, 80939 München, Deutschland

<sup>2</sup> Fachhochschule Deggendorf, 94469 Deggendorf, Deutschland

<sup>3</sup> AG Technische Akustik, MMK, TU München, 80333 München, Deutschland

Email: maria.scherr@irt.de

### Einleitung

Auf der DAGA 2006 wurde ein Verfahren zur binauralen Raumsynthese mittels Wellenfeldsynthese vorgestellt [3]. Kernstück des auch als "Binaural Sky" bekannten Systems ist ein so genannter "virtueller Kopfhörer". Dieser erzeugt nach Prinzipien der Wellenfeldsynthese fokussierte Quellen, die unter Berücksichtigung der aktuellen Kopfbewegung in einer stabilen Position relativ zu den Ohren gehalten werden. Zusammen mit einer geeigneten Übersprechkompensation lassen sich die Systemeigenschaften von realen Kopfhörern nachbilden.

Zur Evaluierung des virtuellen Kopfhörers ist es notwendig, seine Eigenschaften mit denen eines realen Kopfhörers hinsichtlich verschiedener Beurteilungsattribute zu vergleichen. Ein charakteristisches Phänomen der Kopfhörerwiedergabe ist die Im-Kopf-Lokalisation und entsprechende Gesetzmäßigkeiten der Lateralisation. In Hörversuchen wurde die Position der im Kopf erzeugten Phantomschallquelle beurteilt. Dabei wurde neben der seitlichen Auslenkung auch die Verschiebung nach vorne bzw. hinten sowie in der Vertikalen ausgewertet.

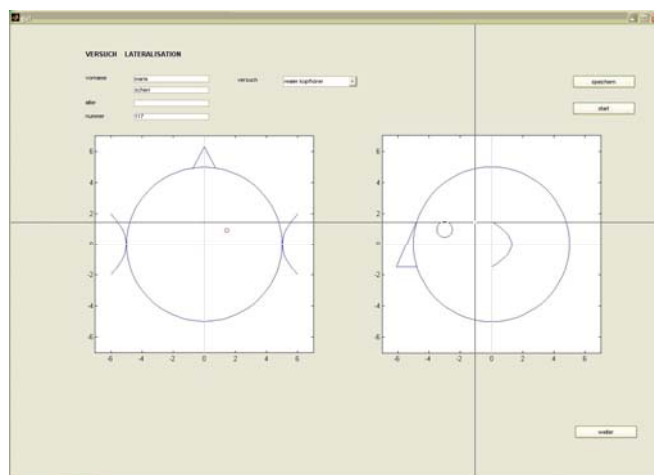
### Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde in Anlehnung an gängige Lateralisationsexperimente konzipiert, vgl. [1][2]. Die Versuchsteilnehmer hatten die Aufgabe, eine durch dichotisch präsentierte Testsignale im Kopf entstehende Phantomschallquelle in drei Dimensionen zu beschreiben.

Dazu wurde ein rechnergestützter Hörversuch mit grafischer Benutzeroberfläche (Abb. 1) entworfen, in dem in zwei stilisierten Köpfen die Stelle des Hörereignisses per Mausclick markiert werden kann. Der erste Kopf symbolisiert die Horizontalebene und ermöglicht damit, die seitliche Auslenkung und eine eventuell auftretende Verschiebung nach vorne oder hinten im Kopf anzugeben. Im zweiten Kopf, der die Medianebene darstellt, kann eine Verschiebung des Hörereignisses in vertikaler Richtung angezeigt werden.

Getestet wurden vier verschiedene Signale: in Anlehnung an Versuche aus der Literatur ein 1 kHz Sinuston, desweiteren zweimal weißes, frequenzgruppenbreites Schmalbandrauschen mit Mittenfrequenzen von 1 kHz und 7 kHz, sowie rosa Rauschen, bandbegrenzt im Bereich von 200 Hz bis 10 kHz. Jedes dieser Signale wurde zwei Sekunden lang mit sieben interauralen Pegeldifferenzen, in 10 dB-Schritten zwischen -30 dB und +30 dB, je dreimal in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Dabei wurde versucht, die Gesamtpegel nach Robinson und Whittle [4] auf gleiche

Lautheit zu kalibrieren. Für einen Versuchsdurchgang ergab sich eine Dauer von ca. 20 Minuten.



**Abb.: 1:** Grafische Benutzeroberfläche zur Anzeige des Hörereignisses in drei Dimensionen. Im linken stilisierten Kopf kann die seitliche Auslenkung und eine Verschiebung des Hörereignisses nach vorne und hinten angegeben werden, im rechten die Auslenkung nach oben oder unten.

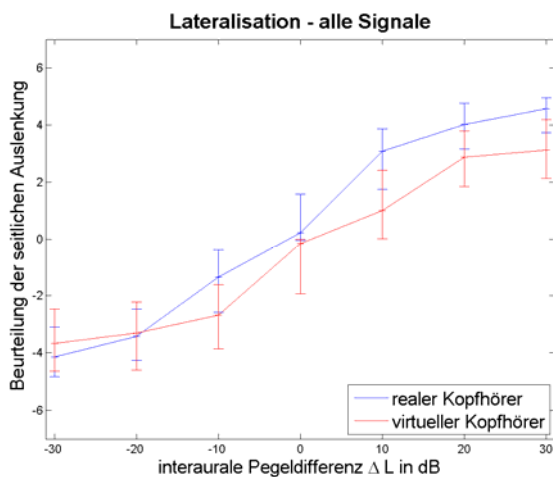
Der gesamte Versuchsablauf wurde für jede Testperson zuerst mit einem realen Kopfhörer (Beyerdynamic DT 831) durchgeführt und in einem weiteren Versuch mit dem virtuellen Kopfhörer wiederholt.

### Ergebnisse

In die Auswertung flossen die Daten von 17 (♀:4 / ♂:13) erfahrenen Versuchspersonen im Alter zwischen 24 und 63 (durchschnittlich 34) Jahren ein, die nachweislich über ein ihrem Alter entsprechendes normales Hörvermögen verfügten.

Die nachfolgenden Grafiken zeigen den Vergleich der Antworten aller Versuchspersonen auf die verschiedenen Pegeldifferenzen beim realen (blau) und virtuellen Kopfhörer (rot).

In den Abbildungen beschreibt die Abszisse die interauralen Pegeldifferenzen in 10 dB-Schritten. Negative Pegeldifferenzwerte auf der x-Achse bedeuten eine stärkere Intensität am linken Ohr. Die Auslenkungen in der jeweiligen Dimension werden auf der Ordinate dargestellt. Bei der Lateralisation im ersten Fall beschreiben die negativen Werte eine Auslenkung nach links im Kopf auf der Achse zwischen beiden Gehörkanaleingängen. "5" entspricht dabei der beim realen Kopfhörer maximal möglichen Auslenkung, Werte zwischen "5" und "7" in jede Richtung definieren einen Bereich außerhalb des Kopfes.



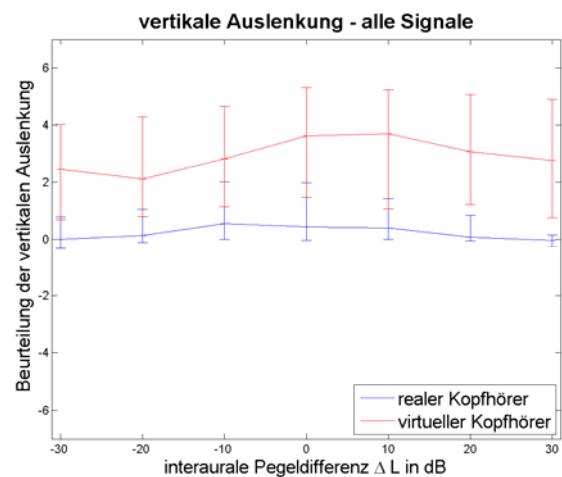
**Abb.: 2:** Beurteilung der seitlichen Auslenkung des virtuellen Kopfhörers im Vergleich zum realen Kopfhörer. Median mit Interquartilsbereich von allen Versuchspersonen und aus allen Signalen.

Die Ergebnisse entsprechen prinzipiell der erwarteten Lateralisationskurve. Die neu gefundenen Werte in Abb. 2 zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die Kurven bekannter Versuche, vgl. z.B. [1][2]. Mit steigender Pegeldifferenz wandert das Hörereignis im Kopf zum stärker angeregten Ohr hin. Entsprechend der Theorie haben die Versuchspersonen bei Signalen ohne Pegelunterschied eine Phantomschallquelle in der Medianebene lokalisiert. Dabei decken sich die Ergebnisse des realen nahezu mit denen des virtuellen Kopfhörers. Allerdings zeigt der flachere Verlauf der Lateralisationskurve des virtuellen Kopfhörers, dass die seitliche Auslenkung weniger stark ausgeprägt ist. Offensichtlich wird die Phantomschallquelle selbst bei einem Pegelunterschied von 30 dB nicht am Ohrkanaleingang wahrgenommen. Dies könnte durch die maximal erreichbare Dämpfung des Übersprechens begründet sein, die Messungen zufolge Werte von etwa 20 dB erreicht, und damit geringer als die getestete Pegeldifferenz ist [3].

Der Median über die Gesamtheit der Antworten aller Versuchspersonen für sämtliche untersuchte Signale zeigt, dass sich bei dichotischen Signalen mit unterschiedlichen Pegeldifferenzen weder beim realen noch beim virtuellen Kopfhörer eine nennenswerte Verschiebung des Hörereignisses nach vorne oder hinten einstellt.

In Abb. 3 ist beim realen Kopfhörer eine minimale Verschiebung des Hörereignisses nach oben beobachtbar. Unabhängig vom Reizsignal bleibt die Wahrnehmung aber ziemlich auf der Geraden zwischen beiden Gehörkanaleingängen.

Beim virtuellen Kopfhörer hingegen tritt das Hörereignis deutlich in der oberen Hälfte des Kopfes auf. Diese Auslenkung kann als eine für dieses System typische Eigenschaft interpretiert werden. Möglicherweise ist sie die Folge der Platzierung der Fokusquellen. Sie werden aufgrund der Gesetzmäßigkeiten der Wellenfeldsynthese zwischen Lautsprecherarray und Zuhörer erzeugt und befinden sich deswegen etwas oberhalb des Kopfes.



**Abb.: 3:** Beurteilung der vertikalen Auslenkung des virtuellen Kopfhörers im Vergleich zum realen Kopfhörer. Median mit Interquartilsbereich von allen Versuchspersonen und aus allen Signalen.

## Zusammenfassung

Abschließend kann festgestellt werden, dass der "Binaural Sky" bezüglich der Lateralisation grundsätzlich die Eigenschaften eines Kopfhörers aufweist. Bekannte Ergebnisse konnten mit dem beschriebenen Versuch bestätigt werden. Allerdings ist der Effekt beim virtuellen Kopfhörer nicht so stark ausgeprägt. Selbst maximale Pegelunterschiede werden noch innerhalb des Kopfes wahrgenommen.

Die Erweiterung der Untersuchung auf drei Dimensionen ergab für die Horizontalebene keine nachweisbare Auslenkung nach vorne oder hinten.

Bei der Wahrnehmung der Höhe konnte allerdings beim realen Kopfhörer eine minimale und beim virtuellen eine deutliche Verschiebung des Hörereignisses nach oben festgestellt werden.

Der virtuelle Kopfhörer zeigt dementsprechend noch Defizite in der Abbildung der Phantomschallquelle in der vertikalen und lateralen Richtung. Eine stärkere Dämpfung bei der Übersprechkompensation zur exakteren Kanaltrennung könnte zu einer Verbesserung beitragen und damit, neben der Untersuchung der erhöhten Wahrnehmung der Phantomschallquelle, Gegenstand zukünftiger Forschung sein.

## Literatur

- [1] Blauert, J.: Räumliches Hören. Hirzel, Stuttgart, 1974
- [2] Fastl, H.; Zwicker, E.: Psychoacoustics – Facts and Models. 3<sup>rd</sup> Ed., Springer, Berlin [u.a.], 2007
- [3] Menzel, D.; Wittek, H.; Fastl, H.; Theile, G.: Binaurale Raumsynthese mittels Wellenfeldsynthese, Tagungsband DAGA 2006, Braunschweig, 20.-23.03., DEGA 2006
- [4] Robinson, D. W.; Whittle, L. S.: The Loudness of Directional Sound Fields. *Acustica* 10, S. 74-80, 1962