

Unterscheiden sich vergleichsweise Raumklang- und Stereokopfhörer auch in subjektiven Parametern wie der Abhörlautstärke sowie Klangfarbe?

Florian M. König, ULTRASON E AG, D-82377 Penzberg, f.koenig@ultrasone.de

1. Einführung

In den letzten gut zehn Jahren wurden vermehrt Verfahren zur Erzeugung von Raumklang mittels Kopfhörern anhand von digital-binauralem Signalprocessing oder Passivmaßnahmen [1] vorgestellt. Grundlagen hierfür schufen u.a. Untersuchungen um die menschliche Zuhörernachbildung in Gestalt sogenannter Kunstkopfsysteme [2]. Im Falle der Wiedergabe von üblichen Stereotonkonserven via Standardkopfhörer reduziert sich dies auf ein (oben) *im Kopf lokalisiertes* (IKL) Mono-/Stereoklangempfinden [3]. Überraschender Weise hat sich im Praxiseinsatz herausgestellt [4], wenn, vergleichsweise zur IKL, eine *Außer-Kopf-Lokalisation* (AKL) plus Entfernungswahrnehmung vorliegt, mehr als nur ein natürlich-räumlicheres Hörereignis einher geht.

Um diesem Faktum auf den Grund zu gehen wurden mehrere Untersuchungen mit unterschiedlichen Kopfhörern sowie Hörreiztypen angesetzt [5].

2. Unterschiede in der Kopfhörerabhörlautstärke

Wie eingangs erläutert, vermögen Kopfhörer unterschiedliche Schallereignisse ein-/zwei-/dreidimensional-räumlich hörbar zu machen. Wohin geht nun die "binaurale Spektrumsenergie" in Anlehnung an den bekannten, "physikalischen Energieerhaltungssatz", wenn manche 3D-Klanggeschehen vergleichsweise *räumlich* potenter ausgebreitet erscheinen, was virtuell *räumlich größeren Schallquellenausmaßen* entspräche? Psychoakustisch anders umschrieben: Ein im Kopf unnatürlich eingengt befindliches Hörereignis (IKL) nimmt demnach weniger Raumvolumen ein, als eine um eine Person herum im Raum außerhalb des Kopfes existente Schallquelle (AKL). Eigentlich *sollte* das Pegel-Lautstärkeverhältnis in einer auditiven Gegenüberstellung identisch bleiben, jedoch bezeugt die Praxis um eine erblindete Person mit Hörschaden das Gegenteil [4, 5]: Hörtrainings per Vorneortungskopfhörer [1] seien vergleichsweise (zur IKL-Situation) länger sowie ohne gravierende Bedebungseffekte absolvierbar. Dies forderte Untersuchung, welche

als Basis einen präparierten Kopfhörer mit jeweils einem üblich zentralen sowie einem dezentralen, unten-vorne [1] plazierten Schallwandler beherbergten. Es konnte ohne umständliches Kopfhörer-Austauschen verzögerungsfrei zwischen einer annähernd klangbildgleichen IKL- sowie AKL-Tonwahrnehmung umgeschaltet werden. Als Hörreize dienten unterschiedliche Klassik- und Pop-Musik-Stereoaufnahmen (keine Kunstkopfaufnahmen), die über einen Mehrkanal-Verstärker mit getrennt regelbaren Stereokopfhörer-Ausgängen den in Rede stehenden Kopfhörer aussteuerten. Zehn Probanden hatten die Aufgabe, *das AKL-Hörereignis auf die gleiche Lautstärke des IKL-Hörereignisses* um ca. 70 dBC einzustellen. Nach erfolgter, vergleichender Ausregelung der Probanden wurde Rosa und Weißes Rauschen als Meßsignal in den Kopfhörer für beide Schallereignisse eingespeist und jeweils per Sondenmikrofon-Messung im Gehörgang der Versuchspersonen erfaßt sowie ausgewertet. Das Ergebnis ist in **Fig. 1** zu entnehmen: Im Mittel wurden für das räumlichere Hörempfinden zwischen 3,1 und 3,8 dB, je nach Rosa oder Weißem Rauschen als Meß-/Testsignal, *weniger* Pegel eingestellt! Keiner der Versuchspersonen bot einen "verstärkenden" Wert an {d.h. bei AKL keine Pegelanhebungen vergleichsweise zur IKL}.

3. Lautstärkevarianzen bei lateralen Hörereignissen

In den folgenden Untersuchungen wurde auf die IKL-Richtungswahrnehmung von räumlichen Hörereignissen eingegangen. Es fanden Messung des Schalldrucks bei Darbietung von *rhythmisch lateralisiertem* (45 oder 90 Grad) **Weißem Rauschen** in Bezug auf eine Hörreferenz 0 Grad vorne statt. Die Aufgabe von neun Probanden war es, eine Lautstärke-Identität bei den in ein bis zwei Sekunden Schritten wechselnden, diotischen und dichotischen IKL-Hörereizen "oben/vorne" sowie "seitlich" einzupegeln. Konstant eingestellt blieb dabei die Hörreferenz (vorne/mittig) bei 70 dBSPL. Nach ermittelter Lautstärke-Identität wurden am Meßobjekt (vereinfacht dBSPL) jeweils die beiden

Speisespannungen gemessen und daraus die zugehörige Wertedifferenz ermittelt.

Trotz gleichbleibender IKL konnte eine zum Vergleichshöreindruck unterschiedliche Volumeneinstellung aufgedeckt werden, die im Meßergebnis als Differenzwert bzw. Faktor auftritt:

- 45 zu 0 Grad mit dem Faktor 1,84 (5,3 dB) bei Beschallung nach [1] (s. Vorne-IKL) sowie 1,65 (4,3 dB) bei üblicher Beschallung (s. Elivation bzw. Oben-IKL);
- 90 zu 0 Grad mit dem Faktor 1,93 bei dem Beschallung nach [1] sowie 1,83 bei üblicher Beschallung (vgl. Faktor 2 = 6 dB).

Nach einer Differenzwertanalyse der Ergebnisse ist auffällig, dass **tendenziell** die Aussagen '45 zu 0 Grad' sowie "90 zu 0 Grad" personenspezifischen schwankten, jedoch im Mittel das Einzel- und Gesamtergebnis aus dem Kopfhörervergleich *Oben-/Vorne-IKL* und dem o.g. *Hörrichtungs-vergleichen* je einen Wert von '0,199' und "0,103" stabil zu errechnen war.

Die Hörrichtung scheint trotz Oben-/Frontal-IKL Einflüsse auf das Lautstärkeempfinden zu haben, was im Rahmen des Down-Mixverhältnisses der Links-Center-Rechts-Tonsignale eines (5.1-Lautsprecher-) 3/2-Kopfhörer- auf 2/2-Surround-Sound-Signals (vgl. Phantommodus) sowie Stereo-3D-Sounds berücksichtigt werden sollte [5].

4. Klangbild-Veränderungen beim 3D-räumlich varianten Hören mit Adaptionseffekten

Im Kontext des vorherigen Kapitels traten während der Versuche um die vergleichende Lautstärke-Burteilungen zudem "verwirrende Klangfarben-Verzerrungen" auf. Wie konnte es dazu kommen, zumal das Schallereignis immer identisch offeriert wurde? Prinzipiell gibt es dafür nur eine **psychoakustische Erklärung**: Ohne Kopfhörer nehmen wir im Freifeld Schallquellen mit dem menschlichen, individuell ausgestalteten Richtungs-filtersystem nach BLAUERT [6] war. Bei der gängigen Kopfhörer-Wiedergabe mit synthetischen sowie lateralisierten Hörreizen, die sich *intensitätsbezogen* zu variierenden Richtungsempfindungen sehr nahe am Kopf ausbilden, scheint unserer Sinneswahrnehmung Hören genau diese *Freifeld-Filterung zu vermissen*. So addiert unser Gehirn anscheinend binaural trotzdem (aber wertebezogen gespiegelt) eine "Gegenfilterung" dazu, welche sich beispielsweise während des Umschaltens zwischen den Hörrichtungsfilterungen 0 auf 45/90 Grad

herleiten ließe. Das zusätzlich zeitliche Ausklingen der empfundenen Klangfarben-Verfälschungen (s. dynamisches Klangfarben-gedächtnis) geht konform mit den Verdeckungs-flankenmustern nach ZWICKER [7].

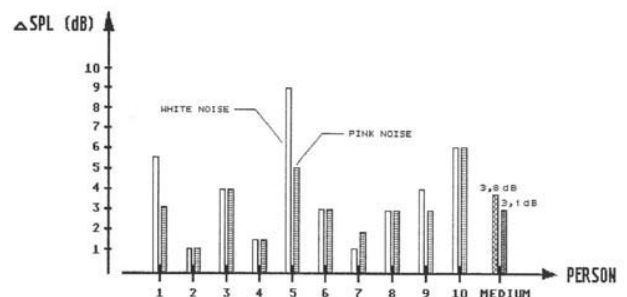


Fig. 1: Frontansicht einer modifizierten Kopfhörer-Schallwandlerhalterung (2) mit einem speziellen Hochtonröhrchen (6) vor dem Hochtonkegel des Schallwandlers (4), dem Schallwandler (5), Normal-Filztrennwand (3) an der Pinna (1).

5. Schlußbetrachtung

Hieraus wird die These aufgestellt, dass jeweils ein unverzerrter, neutraler Kopfhörerklang sowie eine natürlich-räumliche Tondarbietung zur Reduktion von Abhörpegeln beitragen kann; Stichwort "Gehörschonung". Als ergänzender Hintergrund des Beitrages ist die Existenz minderwertiger, portabler Stereoabspielgeräte mit preiswerten Kleinstkopfhörern oder auch die unnatürlich-schmalbandige, kopfbezogene Dauerbeschallungen im Fall der Telekommunikation (s. Call-Center: 300 Hz bis 3400 Hz) mit IKL zu erwähnen, welche eventuell das Faktum AUDIOSHOCK [8] auslöst.

Literatur

- [1] König, F.: Vorneortung von Hörereignissen bei der Außenohrbeschallung mittels Stereokopfhörern - Ein altes Thema, jedoch mit neuer Perspektive; DAGA 1991. [2] Genuit, G.: Ein Modell zur Beschreibung von Außenohrübertragungsfunktionen. Diss. TH Aachen 1984. [3] Plenge, G.: Über das Problem der intrachranialen Ortung von Schallquellen bei der akustischen Wahrnehmung des Menschen (Habil. TU Berlin 1973). [4] König, F.: Ein Beitrag zur Beurteilung des räumlichen Auflösungsvermögens eines klanglich aufgewerteten Kopfhörers mit Vorneortung von Hörereignissen; DAGA 1992. [5] König, F.: Psycho-acoustic investigations in spatial auditory events by headphones and headsets; 17. ICA (Univ. Rom, Sept. 2001). [6] Blauert, J.: *Spatial Hearing*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London 1983. [7] Zwicker, E.; Feldtkeller, R.: *Das Ohr als Nachrichtenempfänger*, S. Hirzel Verlag (1967), Seiten 185 ff. [8]: http://australianit.news.com/au/print_page/0,2865,1730990%255E442,00.html.