

# 3D-Raumklangabbildungen mittels Mehrkanal-Kopfhörer zur Optimierung einer zukünftigen, portablen Surround-Sound-Tonwiedergabevariante

Florian M. König

ULTRASONE AG, D-82327 Tutzing, f.koenig@ultrasone.com

## 1. Einleitung

Die kopfbezogene Beschallung erhielt durch die Einführung von datenreduzierten, digitalen Tonsignalformaten gemäß "mp3" einen ungeahnten Vorschub. Kopfhörer, die zunächst als "Add-On-Zubehör" galten, wanderten nun in den Mittelpunkt des portablen Stereotonwiedergabegeschehens. Parallel kam verstärkt die Frage auf, warum eine sogenannte Im-Kopf-Lokalisation von mittels üblichen Stereotonkonserven erzeugten Hörereignissen empfunden wird. Nach zwischenzeitlich fast 40 Jahren gezielter Forschung steht fest, dass die "künstliche" Beschallungen mittels Kopfhörer und handelsüblicher Stereotonträger eine individuell zum Einsatz kommende, menschliche Höranatomie als Richtcharakteristik benötigt, welche den gewohnten Effekt eines 3D-Raumklanges mit Vorneortung sowie Entfernungswahrnehmung aufbaut ([1, 2]; damit sind *keine* Kunstkopf-Aufnahmen angesprochen).

## 2. Raumklang-Kompatibilität via Kopfhörer gemäß Lautsprecher-Beschallung

Eine wesentliche Frage lautet nun, warum es bislang nicht gelungen ist, dieses 3D-Hören derart umzusetzen, dass eine 1:1 Übertragung von Surround-Lautsprecher-Beschallungssituationen (s. Lautsprecher-Kompatibilität) auf den Kopfhörer für den Endverbraucher *erschwinglich* geworden ist? Geschweige denn, die nunmehr offerierten diskreten Surround-Sound-Tonsignale gemäß 5.1 DOLBY DIGITAL (PRO LOGIC) oder 5.0 DTS, THX, DAB u.s.w. geeignet für ein Kopfhörer-3D-Tonwiedergabe zur Anwendung gelangen, zumal hier nur die *individuelle* Ohrmuschel-Kopf-Ausgestaltung eines Audiosignal-Hörenden und nicht zusätzlich die jeweilig unterschiedliche Lautsprecher-Beschallungsraumakustik mit bedacht werden muß?

Neben dem sei noch auf die standardisierte 5.0 Lautsprecheraufstellung mit 60/120 Grad Front-/REAR-Lautsprecheröffnungswinkel erinnert (s. später zu DOWNMIX), welche, wie auch immer, für die Kopfhörer-Tonwiedergabe offeriert wird. Es ist also nicht verwunderlich, wenn Tonmeister von Kopfhörern als (Surround-) Mix- und Mastering-Werkzeug weniger zu überzeugen sind, jedoch der Endkunde hierauf eher unwissentlich oder naiv eingeht.

## 3. Heutige 3D-Kopfhörer-Tonwiedergabe

An dieser Stelle sei auf zwei gängige Verfahren eingegangen: **Erstens** sogenannte DSP-basierende (DSP = digitales Signal-Processing) Kombinationslösungen aus Stereokopfhörern mit Vorschaltetelektronik [3] in einem bestimmten Preisrahmen, die meistens *nicht* auf eine individuelle Richtungsfilterung der angebotenen FRONT-REAR-Tonsignale zurückgreifen. D.h., es werden jene früher gewonnenen Erkenntnisse um **Klangbildneutralität** sowie **Lautsprecherkompatibilität** der sogenannten, standardisierten, kopfbezogenen, breitbandigen freifeld-/diffusfeldentzerrten Aufnahme-Wiedergabesituation beiseite geschoben, um "überzogenere" 3D-Hörereignis-

Binauralfilterungen *Jedermann* zugute kommen zu lassen (s. pro Richtungsortung, kontra Klangfarben-Verfälschungen). **Zweitens** hierzu existiert parallel eine *ohne DSP*, rein akusto-mechanischen Lösung im Kopfhörer, welche über eine de-zentrale Schallquelle- bzw. Schallwandleranordnung vor der beschallten Ohrmuschel verfügt [4, 5]. Diese erzeugt deshalb eine individuelle Ohrmuschel-Richtcharakteristik und greift damit im Rahmen der virtuellen 3D-Raumklangwiedergabe unverzerrt, also ohne Filterung auf gegebene, diskrete Mehrkanal-Tonsignale zurück. Nachteilig zeigte sich bislang nur der erhöhte 4-Kanal-Tonsignal-Versorgungsanspruch anstatt "stereo".

Eine weitere Frage kommt damit auf, in wie weit die inzwischen unter den Kürzeln SRS, DOLBY-HEADPHONE, Headtracking, ENSONIDO (gemäß "mp3 surround" von FRAUENHOFER IIS) zur Anwendung kommenden Verfahren in ihrer Grundfunktion überhaupt den Ansprüchen eines Toningeneurs nachkommen können, wenn voreingestellte, digital realisierte Tonsignalentzerrungen sowie additive Raumreflexionen oder Tonsignal-Matrix-Verknüpfungen "etwas", aber *nicht* individuell gefiltert vorgeben. Funktioniert dies wirklich unterscheidbar *besser* im Vergleich zu "nur stereo" auch bei Anwendungen, wie geplante mp3-Surround-Player z.B. im Handy? Andererseits, wenn u.a. *keine* Simulation von 3D-Abhörraum-Wandreflexionen neben den eigentlich wiederzugebenden 2.0-/4.0-Originaltonsignalen zur Verfügung gestellt werden, ist dies auch nicht direkt mit der Tonstudio-/Referenz-Lautsprecher-Studioabhörraumakustik vergleichbar!

## 4. DOWNMIX - tontechnische Standardisierungen

Ein weiterer, offener, wesentlicher Punkt (neben binauralem DSP), den es für *alle* Kopfhörer-Bauarten zu standardisieren gilt ist der allgemein angebotene, *korrekte* DOWNMIX-Faktor von mehrkanaligen Tonsignalen in Richtung "stereo" oder "mehrkanalig". Für "stereo" FRONT gilt: Es wird L+C, R+R, also der Center (s. C) auf frontale Stereosignalkanäle links/rechts (s. L, R) gemischt; nur mit welchen Mischfaktoren für welche Kopfhörerbautypen (etwa rein "rechnerisch" über den Faktor 0,71 [6, 7])? Im übrigen werden bei kopfbezogenen Surround-DSP-HiFi-Geräten dann zudem "stereo" jene down-gemixte FRONT-Signale noch mit den angebotenen Surround REAR-Signalen, also u.a. L<sub>FRONT</sub>+L<sub>REAR</sub> sowie R<sub>FRONT</sub>+R<sub>REAR</sub> *binaural* verknüpft. Ist damit tatsächliche ein 60/120 Grad Front-/REAR-Lautsprecheröffnungswinkel erzielt, oder weicht die Realität von der theoretischen Vorgabe ab? Kommt diese psychoakustisch-räumlich zu interpretierende Reduzierung der Stereobasisbreite und Entfernungswahrnehmung überhaupt beim beschallten Probanden an - *Realitätsnähe*? Sollten also diese Faktoren bei den o.g. zwei Kopfhörertechniken und deren unterschiedlichen pinna-bezogenen Beschallungscharakteristika sowie der jeweils

einher gehenden, differierenden, räumlichen Breiten-/Tiefenstaffelung nicht variieren dürfen (s. angedeutete Probleme mit fixierten DSP-Preset-Voreinstellungen)?

In diesem Zusammenhang ergab sich während der 119. bis 121. AES Convention's umfangreiche Diskussionen, wie man mit welchen Faktoren 5.1 oder 5.0 Tonsignale zu einer 2.0-Variante, also Stereokopfhörer-Tonwiedergabe downmixed. Neben den o.g. Vorschlägen seitens DOLBY, FRAUENHOFER™ sowie LEXICON™ wurde dort eine deutlich einfacher Variante ohne intensiven DOWNMIX für die FRONT-Tonkanäle, nämlich der *4.0-Kopfhörer-Beschallung* vergessen (kein Center-Kanal; s. "Phantommodus" PRO-LOGIC), welche u.a. während der 28. AES Konferenz [7] vergleichend diskutiert und vorgeführt wurde! Nicht unerheblich ist dann folgende Frage: Wie verhalten sich im Sinne einer lautsprecher-kompatiblen Abhörsituation diese "anatomisch gemittelten" DSP-Binaural-Lösungen gemäß 2.0 im portablen Surround-Sound-Einsatz seitens WALKMAN, DISCMAN, IPOD, Mobiltelefon und "mp3" oder "mp3 surround" via *Billig-Kopfhörer*; geschweige denn vergleichend, ein sich individuell am Probanden anpassender 4.0-Tonsignal-Kopfhörer [6, 7]?

Es sei nun noch auf ein tontechnisches Phänomen hingewiesen: Wenn *weltweit* surround gemischte Aufnahmen (s. CD's / DVD's) zusammengetragen werden und in einem Surround-Sound-Hörvergleich gegenübergestellt werden, fallen unmittelbar starke Schwankungen im Vorne-Hinten-Pegel auf! Dies stimmt gerade kritische Kopfhörer-Anwender nachdenklich, via Kopfhörer "subjektiv" unterschiedliche, räumliche Tiefen/Entfernungen aufgebaut vorzufinden, weshalb die *REAR's ständig nachgepegelt* werden müssen! Liegt dies an dem Kopfhörer-Abhörmedium, was zu empfindlich gegenüber dem Lautsprecher-Wiedergabe-Verfahren ist, oder an den weltweit in den Tonstudios *unterschiedlich* intensiv gemischten / gemasterten Surround-Tonträgern, oder an einem eher als *künstlerischen* Aspekt zu interpretierenden FRONT-REAR-Pegelverhältnis?

### 5. Heimkino & HiFi - Tonsignal-Steckverbindungen

An dieser Stelle soll ein sehr *praktisch* anmutender Gesichtspunkt, wenn 2.0- und/oder 4.0-Kopfhörer zur Verwendung stünden, aufgezeigt werden, was bereits in den Neunziger Jahren war: Es ist zu empfehlen, eine standardisierte, intelligent erkennende Vario-Umschaltung zwischen 2.0/4.0-Kopfhörertypen anzubieten, welche derzeit noch an einer geeigneten, auf-/abwärtskompatiblen Studio- oder *HiFi*-Steckerverbindung am Audiogerät selbst scheitert (s. ein 3,5"/6,3" Vario-Klinkenbuchse/-stecker mit drei oder fünf Anschlußpolen und 2-/4-Kanal-Kopfhörer-Erkennungs-Buchsen-Mechanik oder einfacher zwei dreipolige Klinkenbuchsen/-stecker).

Für den Endverbraucher stellt sich derzeit fast ausschließlich *keine* Frage um diese Steckerverbindung oder Kopfhörer-Surround-Beschallung, da die meisten *Heimkino-Surround-Amplifier* oder *portablen DVD-Player* nur einen "primitiven" Kopfhörer-Stereo-Tonausgang der "Front's" anbieten.

Ob diese gängige "Stereo-Kopfhörersichtweise" der eher kommerziell denkenden UE-Branche in Sachen zukünftiger Umsätze hilfreich zur Seite stehen wird, gerade Surround-Sound in menschlichen Ballungsgebieten (s. Großstädte) mit weniger Wohnraum sowie gegebenen *Nachbarschafts-*

*problemen* einführen zu können, beantwortet sich von selbst und sollte in angebotener Lösungsausgestaltung der *HiFi-Gerätehersteller* bald möglichst "entsorgt" sein. Solch eine 5-polige Buchse-Steckeralternative oder *zwei Stereo-Klinkenbuchsen* für Vierkanal-Kopfhörer scheitert ohnehin nicht an den Kosten [8]. Im Gegenteil: Die 4-kanalige Sound-Kopfhörer-Tonwiedergabe offeriert per Widerstandsmatrix (mittels zweier Impedanzen regelbar, den Center-Kanal je links / rechts aufmisch) *keine* für DSP-Lösungen typische *Lizenzzahlungen* an Dritte!

### 6. Vision - Weiterentwicklungen

Anhand von drei abschließenden Beispielen seien hierzu frei stehende Entwicklungspotentiale der kopfbezogenen 3D-Tonwiedergabe als *Zukunftsperspektive* angedeutet:

Der irritierende Effekt einen Oben-Im-Kopf-Ortung von (digital-) binaural entzerrten Stereotonsignalen ließe sich durch additive Verwendung von Kopfhörern mit dezentraler Schallwandleranordnung [4, 6] minimieren oder sogar gänzlich ausschalten. Dies, ergo Punkt zweitens, gilt auch für durch Headtracking produzierte, los gelöste, demnach distanzierte und richtungsdynamischere Räumlichkeitswahrnehmungen. Eine Ergänzung bestehender 4-Kanal-Kopfhörer mit Headtracking, welche die besagte, aufwandsreduzierte 4.0-DOWNMIX-Kalkulation beinhalten würde, ergebe möglicher Weise ein "Räumlichkeitsoptimum" mit Reduzierung von Rest-Elivationseffekten. Der zugehörige Headtracking-Prozessing-Aufwand im 4-Kanal-Modus (statt Stereo-DOWNMIX gemäß 5.1 / 5.0 versus 2.0) würde jedoch steigen.

### Literatur

- [1] König, F., M.: „Untersuchungen zur Varianz der infantilen sowie adulten Kopfhörer-Außenohr-Übertragungsfunktion“. 23. Tonmeistertagung, 2004, Proceedings, S.529-542.
- [2] König, F., M.: „The Casuals of Headphones Tone Coloration Variations related on the Human Pinna Influence. 116. AES Convention Berlin, 2004, Preprint 6077.
- [3] A. Persterer, „Binaurale Simulation des ‚idealen Abhörtaumes‘ für Kopfhörerwiedergabe“. 16. Tonmeistertagung Karlsruhe, S. 470-477.
- [4] König, F., M.: „Vorneortung von Höreignissen bei der Außenohr-Beschallung mittels Stereokopfhörer - Ein altes Thema, jedoch mit neuer Perspektive“. Fortschritte der Akustik, 17. DAGA 1991, S. 861-864.
- [5] König, F., M.: „4-Channel Headphone for in front Localization and HDTV- or DOLBY™-Surround Use“. 96. AES Convention Amsterdam, 1994, Preprint 3826.
- [6] König, F., M.: „A New Supra-Aural Dynamic Headphone System for In-Front-Localisation and Surround Reproduction of Sound“. 102. AES Convention Munich, 1997, Preprint 4495.
- [7] König, F., M.: „Future needs to create natural 3D auditory events via more channel headphones for mpeg surround purposes“. 28. AES Conference Pitea, Proceedings, S. 190-195.
- [8] [www.eagle.co.za/display\\_product\\_1069.htm](http://www.eagle.co.za/display_product_1069.htm)