

Untersuchungen zur Variation der Klangbildeigenschaften von Kopfhörern

Investigations in variations of headphones tone coloration

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

Abstract: Headphones are working as head-related sound sources at the human outer ear. The tone coloration has to be neutral and loudspeaker compatible as recommended at the CCIR 708 for flat diffuse-field transfer functions (DFTF). Some variation factors influence this transfer functions in a practice use: The individual outer ear or pinna transfer function (OETF) as a part of the head-related transfer function (HRTF) and the principle of the headphones acoustic reinforcing device in front of the pinna. Examples for this are open/closed or supra-/circum aural headphones and the speaker placement nearby the auditory canal. Statistics on several thousand users of headphones offered significant more fluctuating tone coloration effects by statements of too much or less high frequency range as explained by a "rough" or "damped" sound quality for one created circum-aural, open headphone for in front localisation (HFI) apart from another HFI's and normal headphone developments. It was investigated over seven persons in an open supra-aural and a closed circum-aural HFI (centric and damped speaker or driver placement; test/type no. B1+B2) and an open circum-aural HFI (de-centric speaker placement; test/type no. A3) and a normal open, circum-aural headphone (centric speaker placement; **Fig. 1**). The intention of this work was to research and show the basics of this extraordinary sound effect in head-related reproduction of sound. So the tone coloration was no subjective testing persons result, but a greater intensive influence of the anatomic pinna construction working together with the sound source placement as a varying acoustic filter unit (compare **Fig. 2**/typeA3 and it's higher standard deviation value around 6 kHz with **Fig. 3**/typeB1 shown by the dotted lines).

1. Einleitung - Grundlagen

Zweikanalige Tonaufnahme-Wiedergabestrecken sollte anhand des Abhörmediums (Stereo-) Kopfhörer samt zugehörigem Übertragungsmaß [1] und mittels eingebundener, signalfilternder, menschlicher zwei Außenohren [2] zwangsläufig zum in sich optimierten Verfahren reifen. Genereller Vorteil dieses Verfahrens: Die Abhörraumakustik-Einflüsse spielen im Gegensatz zur Lautsprecherbeschallung dabei keine Rolle. Dies aufgreifend fanden aktuelle Bemühungen um einen standardisieren Kopfhörerhörtest in dem zuständigen, deutschen Normengremium keine Befürwortung, da

- kein vereinheitlichter Referenzlautsprecherhörtest vorläge,
- an einer generellen Anwendung von möglichst Vielen (vgl. Fachzeitschriften, Testinstitute) gezweifelt wird und
- es inzwischen höchst unterschiedliche, zueinander nicht compatible, kopfbezogene, (Raumklang-) Tonwiedergabeverfahren gibt!

Neben den individuellen Schwankung der Außenohr-Übertragungsfunktionen innerhalb einer Testhörpersonengruppe (vorzugsweise 8 oder 16 Probanden [1]) variieren zudem auch noch verfahrensabhängige Einflüsse der runden / eckigen Schallwandler, offenen / geschlossenen oder circum- / supra-auralen Kopfhörer mit Ohrpolstern aus Samt / Kunstleder, weshalb ein *im Mittel* begutachteter Kopfhörerklang (vgl. Diffusfeld-Übertragungsmaß; CCIR 708) anscheinend keine hinreichende Aussage für *individuelle* Nutzer etc. vorgibt [1].

Gestützt werden nun diese Fakten gegen standardisierte Kopfhörertests erneut durch folgendes, statistisches Phänomen: Ein rein akusto-mechanisch konzipierter (Raum-) Kopfhörer mit überwiegend dezentralem Schallereignis am Außenohr (keine binaurale Vorschaltfilter) offenbarte öfters uneinheitlich attestierte (Raum-) Klangfarbenbeurteilungen. D.h., intra-individuell konnten für einen Kopfhörer **Typ A** (s. dezentraler Schallwandler [3]) signifikant häufiger Aussagen wie "zu viel/wenig Bass/Höhen" gesammelt werden, als es für einen **Typ B** eintrat, bei welchem der Nutzer grundsätzlich zufriedener war (s. zentraler Schallwandler, jedoch akustisch oberhalb bedämpft [3]). Zur Erklärung des Phänomens nochmals: Es geht hier nicht um die alleinige Bewertung eines Vergleichsobjektes, was entweder zu viel oder zu wenig Baß / Höhen als subjektives Urteil erhielt, sondern bei Typ A um benannte Klangfarbenverfälschungen (s. zu viel "+" und wenig "-") mit annähernd gleich starker Einschätzungsanzahl; summe der addierten "+/-" im Gesamtkritikanzahlmittelwert ungefähr 0! Hinsichtlich Typ A

wurden also mehr oder weniger beide Kritikrichtungen registriert, was (Beides) beim Typ B statistisch weniger gehäuft auftrat. Mit der vorliegenden Arbeit soll dieses elektroakustische Phänomen an den o.g. Raumklangkopfhörerprinzipien ergründet bzw. die Ursache hierfür gefunden werden.

2. Messaufbau und Versuchsablauf

Es wurden insgesamt sieben Personen zwei Sondenmikrofone in allgemein bekannter sowie vorgeschriebener Position, nämlich 4 mm einwärts des Gehörgangs, platziert. Danach wurde mittels Rauschsignal-Beschallung bei ca. 70 dB das Außenohr-Übertragungsmaß mit aufgesetztem, ²genau platziertem Kopfhörer aufgenommen bzw. das resultierende, verzerrte Tonsignal registriert (²Messvorgangswiederholung, bis Übertragungsmaße ab 1 kHz ca. 1 dB identisch auftraten) und später zunächst in achtel Terzen spektrumanalysiert.

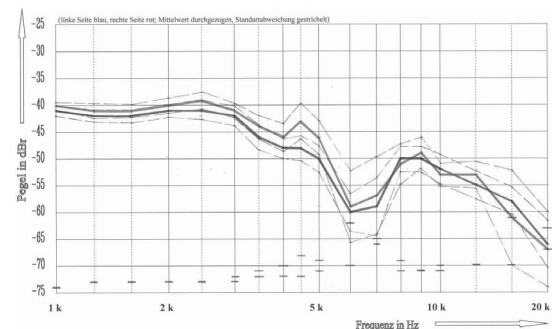


Fig. 1: Außenohr-Übertragungsmaß Nr. 4 (Schallwandler zentrisch); ****Hinweis:** "Durchgezogen" ist der Mittelwert; "strichliert" die Standardabweichung; "unten liegende Balken" ist jeweils der maximale Varianzwert je Terz; die Farbkennzeichnung blau = links, rot = rechts. DFTF no. 4 of a circum-aural headphone with a centric speaker (lined); the standard deviation (dotted) and the maximum values (dashed); the left channel is coloured blue and right is coloured red.

Für die Untersuchung standen ein ohraufliegender (offenes Prinzip, Testobjekt Nr. B1 / Stoffpolster) sowie ohrumschließender (geschlossenes Prinzip, Testobjekt Nr. B2 / Kunstlederohrpolster) Kopfhörer gemäß **Typ B**, ein ohrumschließender (offenes Prinzip, Testobjekt Nr. A3 / Samtohrpolster) Kopfhörer gemäß **Typ A** und eine **marktüblicher** Kopfhörer mit zentrischem Schallwandler (offenes Prinzip, Testobjekt Nr. 4 / Kunstlederohrpolster) zur Verfügung. Die erhaltenen Außenohr-Kopfhörer-Übertragungsmaße wurden gemittelt und einer Berechnung der Standardabweichung sowie Spitzenwert- bzw.

Maximalvarianzwertermittlung in Terzbreite umgerechnet unterzogen. Nachdem Außenohren aufgrund ihrer anatomischen Abmessungen erst ab einer Frequenz von ca. 1 kHz maßgeblich lineare Audioverzerrungen beisteuern, wurde dies gleichzeitig als untere Darstellungsgrenzfrequenz in den hier vorgelegten Übertragungsmaßen gewählt.

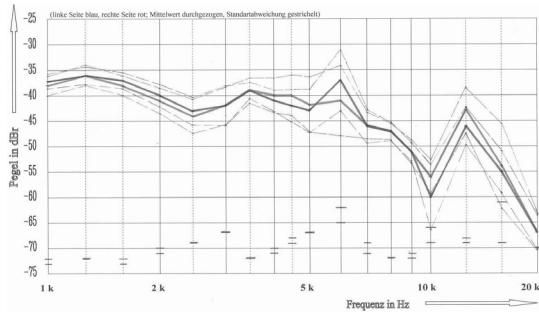


Fig. 2: Außenohr-Übertragungsmaß Nr. A3 (Type A) über sieben Probanden erfasst; ****Hinweis**, siehe **Fig. 1**. *DFTF no. A3 of a circum-aural headphone, de-centric speaker. Hint: Explanations in fig. 1.*

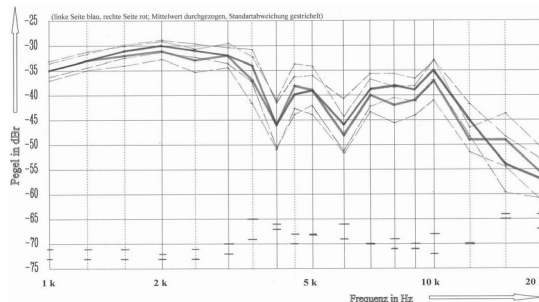


Fig. 3: Außenohr-Übertragungsmaß Nr. B1 (Type B) über sieben Probanden erfasst; ****Hinweis**, siehe **Fig. 1**. *DFTF no. B1 of a supra-aural open headphone, centric speaker, de-centric sound source. Hint: Explanations in fig. 1.*

3. Untersuchungsergebnisse

Für die vier o.g. Testkopfhörer sind in den **Figuren 1 bis 4** die erhaltenen Übertragungsmaße ersichtlich, wobei darauf hinzuweisen ist, dass für den Betrachter dezibel-exakte Terzwerte erst nach einer Frequenzgangkorrektur der obersten drei Darstellungsterzen bei 12 / 16 / 20 kHz mit jeweils einzurechnenden plus 1, 6 und 12 dB gegeben wäre. Jedoch sollte dies bezüglich eines Vergleiches (s. Relativwertegenüberstellung) der Übertragungsmaßinhalte bzw. Suche nach Eigenarten in dieser Arbeit unerheblich sein. Im einzelnen ist zu den Testobjekten folgendes herauszuheben:

Lfd. Nr. B1 (Fig. 3): Bei 2 und 10 kHz Resonanzverhalten, deutet auf ein blechern-schrillen Klangeindruck und eine gewisse Rauigkeit in der Höhenklangempfindung hin; leichte Senken bei ca. 4 sowie 6 kHz; der Mittenbereich ist bis ca. 400 Hz im wesentlichen linear, zeigt jedoch eine Anhebung zu tiefen Frequenzen hin ab 250 Hz. Maximale *Varianzen* bis zu 11 dB treten bei 4, 6, 16 und 20 kHz auf; die zugehörige *Standardabweichung* liegt bei < 5,7 dB (min. 1,2 dB).

Lfd. Nr. B2 (Fig. 4): Bei 1,6 / 4,5 / 10 kHz oktavbreites Resonanzverhalten, ein nälendes, leicht blechernes, etwas schrilles Höhenklangbild; Senke bei ca. 2,5 sowie 7 kHz erzeugt leicht ausgeprägte nicht-OBEN-Ortung; Mittenbereich ist bis ca. 200 Hz ungefähr linear. Maximale *Varianzen* bis 11 dB bei 6 / 12 kHz; die *Standardabweichung* 6,6 dB (min. 1,0 dB).

Lfd. Nr. A3 (Fig. 2): Bei 6 und 12 kHz Resonanzverhalten, eine gewisse Rauigkeit im Höhenklangbild; Senke um 2,5 sowie 10 kHz für nicht-OBEN-Ortung; Mittenbereich bis ca. 300 Hz annähernd linear. Maximale *Varianzen* bis zu 14 dB bei 6, 10 und 16 kHz auf; die *Standardabweichung* 5 dB (min. 1,7 dB).

Lfd. Nr. 4 (Fig. 1): Bei 4 und 9 kHz Resonanzverhalten, eine

gewisse Unausgewogenheit im Höhenklangbild; breite Senke um 6 bis 7 kHz spricht für etwas OBEN-Ortung; Mittenbereich bis ca. 300 Hz linear. Maximale *Varianzen* bis zu 14 dB um 6, 16 kHz; *Standardabweichung* < 9,1 dB (min. 0,7 dB).

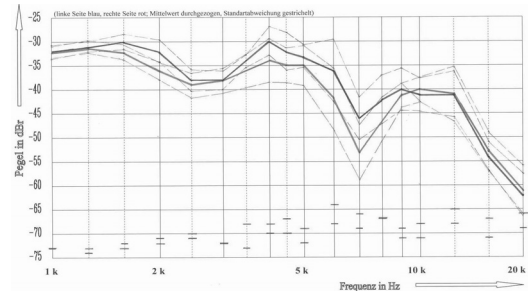


Fig. 4: Außenohr-Übertragungsmaß Nr. B2 (Type B) über sieben Probanden erfasst; ****Hinweis**, siehe **Fig. 1**. *DFTF no. B2 of a circum-aural closed headphone with a centric speaker, de-centric sound source. Hint: Explanations in fig. 1.*

4. Diskussion – Schlussbetrachtung

In einer Gegenüberstellung der o.g. Varianzdaten seitens der vier Kopfhörer fällt auf, dass der Kopfhörer **Typ B** die geringsten Schwankungen aufweist. Dies widerspricht eigentlich dem eher weniger exakt platzierbaren, ohr-aufliegenden Kopfhörerprinzip. Ferner ist unverständlich, warum ein Kopfhörer (Nr. 4) mit zentralem 5-cm-Schallwandler (die anderen drei Typen arbeiten mit 4-cm-Wandlern) die zweit höchsten Varianzen offenbart; mögliche Begründung: Durch die großflächigere Beschallungscharakteristik an resonanzanfälligen Concha-, Helixbereichen ist eine stärkere Richtungsfilterung gegeben. Klar zum Ausdruck kommt die hinsichtlich eines allgemein bevorzugten, maximal-frontalen Hörereignisses vorgegebene, effektivere, *dezentrale* Anordnung von Schallwandlern vor der Pinna bei Kopfhörer **Typ A3**, der gleichzeitig frequenzselektiv pegelschwankungsempfindlicher wird und klanglich über mehrere Personen uneinheitlichere Ergebnisse abwirft. Dieser geht damit exakter auf anatomisch-individuelle Hörrihtungsmerkmale von Probanden ein, als es z.B. der **Typ B** vermag (vgl. leichte Elivationseffekte bzw. Hörereignisdrift nach oben). Maximal tritt dieser Oben-Ortungseffekt beim Kopfhörer **Typ 4** auf, was die Übertragungsmaßanhebung um 10 kHz sowie die Linearität bis 3 kHz (danach kontinuierlicher Pegelabfall zu steigenden Frequenzen hin) bezeugt. Zudem ist herauszuheben, dass die Kopfhörer gemäß **Typ B** eher die Concha als anatomisches Richtungsfilterelement beaufschlagen, dagegen **Typ A** die Concha und auch die Helix (s. dezentraler Schallwandler und *Senke* bei 10 kHz).

Demnach ist hiermit die Intention dieser Untersuchung erfüllt worden nachzuweisen, welcher der o.g. vier Kopfhörer-Bauformen mehr Übertragungsmaß- bzw. Klangbildvarianzen erzeugt, nämlich **Typ A3** als Raumklangkopfhörer und, dass die **Bautyp B** resistenter gegen intra-individuelle Schwankungen arbeitet. Die gewonnen Ergebnisse sollten trotz der kleineren Personengruppe (sieben) und vier unterschiedlicher Kopfhörertypen eine ausreichend ergebnis-reproduzierbar offerieren sein.

Literatur

- [1] König, F., M.: Neuere Untersuchungen zur klangbeurteilenden Messtechnik von Kopfhörern. DAGA 1991, Seite 857 ff.; weitere Literatur zum Thema: Seite 197 ff. [2] Blauert, J.: Spatial Hearing. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London (1983). [3] König, F., M.: A new supra-aural headphone system for in front localisation and surround reproduction of sound. 102. AES Convention München (1997), Preprint Nr. 4495.