

Zur Varianz der Kopfhörer-Außenohr-Übertragungsfunktionen seitens infantiler und erwachsener Probanden

Florian M. König, Andreas Veitinger

Ultrasone AG, 82377 Penzberg, Deutschland, Email: a.veitinger@ultrasone.de

Einführung

Die rasante Entwicklung in der Elektroakustik ermöglicht bislang undenkbar hochqualitative, dreidimensionale Tonaufnahme-Wiedergabe-Darbietungen ob über Lautsprecher oder Kopfhörer [1, 2]. Jedoch treten auch heute oftmals noch Qualitätsschwankungen in der gesamten Tonübertragungsstrecke auf, d.h. von der Aufnahme bis hin zur Tonwiedergabeseite an der Ohrmuschel. Untersuchungen zu Außenohr-Übertragungsfunktionen beschränkten sich dabei bis heute vorwiegend auf erwachsene Hörer, jedoch nicht auf Kinder (s. Audiologie, Kunstkopf, Kopfhörer)!

Hierzu interessieren auch psychoakustische Zusammenhänge, u.a. wie der Mensch sein räumliches Hörvermögen erlernt hat, nämlich im Baby-/Kleinkindalter [3]. Nicht ganz als unerheblich zeigt sich demnach in diesem Kontext ein infantiler Höreffekt, welcher bis in das Schulalter eine > 6 dB umfassende Hörempfindlichkeitsreduktion um die C5-Senke offenlegt, welche kontinuierlich zum Jugendalter hin abnimmt. Zudem liegt die kindliche Sprachstimmlage 2 bis 3 Oktaven höher als von Erwachsenen.

Welche Rolle diesbezüglich eine deutlich kleinere Kinderhör anatomie im Zusammenspiel von Innen-/Mittel-/Außenohr spielt, ist nirgends beschrieben; ebensowenig, was während der Nutzung von binauralen, kopfbezogenen "Erwachsenen-Beschallungsvorrichtungen" passiert.

Liegt hier ein Untersuchungsbedarf vor? Prinzipiell schon lange Zeit, denn die Erwachsenen bestimmen bekanntlich mit ihrem elektroakustischen Verständnis und den darauf aufbauenden Produktentwicklungen, "wie Kinder zu hören haben". Zudem ist medienbekannt, dass die Anzahl der gehörgeschädigten Jugendlichen und jungen Erwachsenen europaweit prozentual im zweistelligen Bereich steigt.

Der vorliegende Beitrag soll als Einstieg wesentliche, meßtechnisch erfassbare Unterschiede der Außenohren von Erwachsenen und Kindern bei Beschallung via Stereokopfhörer erstmals *vergleichend* veranschaulichen.

Messprozedur und Messdurchführung

Es wurden Sondenmikrofonmessungen (Type Soundman OKMII sowie Sennheiser KE4) im Eingangsbereich des Gehörgangs an Probanden angestellt (identisch zur Methode nach [4] <> das Mikrofon wurde am Gehörgangeintrittspunkt plaziert), die mit dem darüber aufgesetzten Kopfhörer das spektrale Produkt aus Pinna-Kopfhörer-Beschallungscharakteristik aufgenommen haben.

Als Meßsignal stand rechnergestützt generiertes Rosa-Rauschen zur Verfügung, was via CREATIVE ® Sound-Karte über einen Lap-Top wiedergegeben und per o.g. Elektret-Sondenmikrofon erfaßt bzw. zur Spektrumsanalyse aufgenommen wurde. Die Probanden wurden mit einem Rauschsignalpegel von ca. 65 dBc beaufschlagt.

Nach genau auf dem Testpersonenkopf platziertem Kopfhörer wurde also das resultierende, durch die Pinna- sowie Kopfhörer-Übertragungsfunktion verzerrte Tonsignal registriert (ergänzender Hinweis: Zwei- bis dreimalige Messvorgangswiederholung, bis Übertragungsmaße ab 1 kHz zirka 1 dB identisch auftraten).

Mittels zweier handelsüblicher Spektrumanalyseprogramme wurden 2- oder 3-dimensionale Übertragungsmaße in achtel Terzbreite errechnet (verwendete Produkte: "Audio-Test" und "Wave-Lab"). Wesentlich verbleibt anzumerken, dass die Pinna- bzw. Außenohr-Richtcharakteristik erst ab einer Frequenz von ca. 1 kHz markante Filtereffekte produziert, weshalb im vorliegenden Kontext sowie gemäß [5] sämtliche graphische Darstellung sich vereinfacht auf einen Frequenzbereich von 1 bis 20 kHz beschränken. Desgleichen sind in den nachfolgend gezeigten Übertragungsmaßen reine Dezibel-Relativwerte ersichtlich, welche akustische Dämpfungen und Resonanzen des Versuchsaufbaues (s. Sondenmikrofon-Artefakte) nicht mehr beinhalten (s. Differenzwertbildung = Herausrechnung des systematischen Versuchsaufbauverzerrungsfehlers). Diese Meßergebnis-Auswertungsvereinfachungen konnten deshalb wahrgenommen werden, da für die vorliegende Untersuchung der *Vergleich von Meßwerten (je Kopfhörer und Proband: Differenzwertbildung)* sowie ein reproduzierbares Diskussionsergebnis um adulte sowie infantile Pinna-Kopfhörer-Effekte im Vordergrund stehen sollte.

Für die Versuchsreihen standen zwei größere Personenaltersgruppen (je Adults / Kids) mit jeweils 14 Personen zur Verfügung. Alle diese Probanden durchschritten sechs Meßzyklen, mußten also mit sechs Kopfhörern "vermessen" werden. Die Personengruppe der Erwachsenen (Adults) setzte sich aus 5 männlichen und 9 weiblichen Probanden über 20 Jahre sowie seitens der Kinder (Kids) in geschlechtlich gleicher Anzahlverteilung zusammen. Als kopfbezogene Beschallungselemente wurden *sechs* höchst ungleiche *Kopfhörertypen* von *vier* verschiedenen *Herstellern* ausgewählt:

- Offener, supra-auraler Kleinkopfhörer,
- offener, supra-auraler Kleinkopfhörer mit dezentraler Schallquelle
- offener, circum-auraler Kopfhörer mit üblichem / zentralem Schallwandler,
- offener, circum-auraler Kopfhörer mit vorwiegend dezentralem Schallwandler
- geschlossener, circum-auraler Kopfhörer mit üblicher / zentraler Schallquelle
- geschlossener, circum-auraler Kopfhörer mit dezentraler Schallquelle

Im Einzelnen wurden für alle sechs Versuchskopfhörer sowie Adults/Kids und männlich/weiblich getrennt Mittelwertbildungen plus eine Errechnung der Standardabweichung je Meßfrequenz angestellt.

Messergebnisse

Als Gesamtergebnis läßt sich festhalten, daß aufgrund der bereits erwähnten anatomischen Pinna-Größendifferenz von Erwachsenen gegenüber Kindern nachweisbar signifikante Übertragungsfunktions-Unterschiede existieren.

Im Folgenden sollen die gewonnenen Ergebnisse detaillierter, vorwiegend seitens der zwei betrachteten Alterspersonengruppen, aber auch geschlechtsspezifisch statistisch vergleichend betrachtet werden.

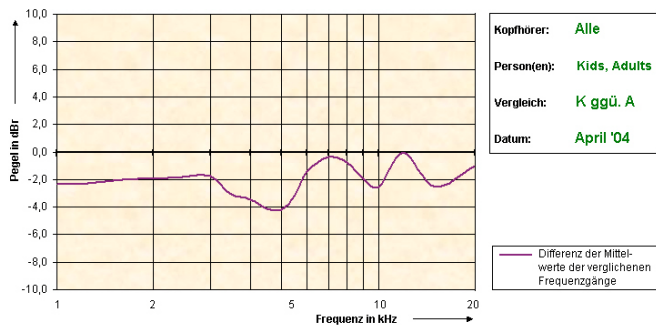


Abbildung 1: Differenzwerte der gemittelten Übertragungsmaße von Kindern gegenüber Erwachsenen über alle Kopfhörer.

Abbildung 1 zeigt *deutliche*, kindliche Pinna-Dämpfungseffekte gegenüber Erwachsenen mit -2 dB zwischen 3 und 5,7 kHz sowie zwei Anhebungen von + 2 dB bei 7 sowie 12 kHz. Es wurden sämtliche akustische Untersuchungsergebnisse, jeweils der Kinder- und der Erwachsenen-Kopfhörer-Messungen gemittelt gegenüber gestellt. (Dass die Relativwertegraphik bei zirka - 2,2 dB beginnt, ist auf reduzierte Meßsignaleinpegelungen seitens der kindlichen Probanden zurückzuführen.) *Es wird damit klar für den Hörhöhenbereich aufgezeigt, dass Kinder deutlich anders hören als Erwachsene!*

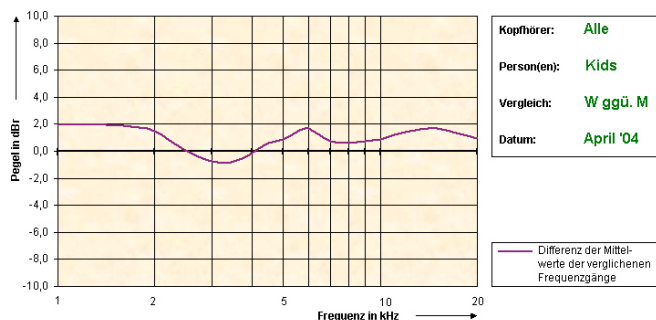


Abbildung 2: Differenzwerte der gemittelten Übertragungsmaße von weiblichen gegenüber männlichen Kindern über alle Kopfhörer.

Abbildung 2 zeigt als ergänzende Information Pinna-Dämpfungseffekte der Mädchen gegenüber den Buben: Bis zu -3 dB zwischen 2 und 5,8 kHz sowie 1,5 dB von 6 und 14 kHz. Es wurden sämtliche akustische Untersuchungsergebnisse, jeweils der Mädchen- und der Buben-Kopfhörer-Messungen gemittelt gegenübergestellt. Dass die Relativwertegraphik bei zirka + 2dB beginnt, ist auf ungleiche Meßsignaleinpegelungen zurückzuführen. *Es wird demnach hinsichtlich der spektralen Intensitätsverteilung im gezeigten Frequenzbereich verdeutlicht, dass Mädchen signifikant anders hören als Buben!*

Diskussion der Ergebnisse

Aufgrund der kleineren anatomischen Verhältnisse der infantilen Probanden, gegenüber denen der Erwachsenen, waren abweichende Ergebnisse der Außenohr-Übertragungsfunktionen bereits zu erwarten. Da sich die in Abbildung 1 sichtbare Tendenz aber auch über die jeweiligen Messungen über eine größere Anzahl von Kopfhörer-Modellen getrennt als *stabil* darstellen läßt, kann das Ergebnis als statistisch signifikant und reproduzierbar eingestuft werden. Die Meßprozedur samt Equipment stellte sich als statistisch und systematisch fehlerarm heraus, zumal sich stochastische Schwankungen seitens der Meßgenauigkeit von 1 dB (u.a. Meßsignal, 20 - 20000 Hz) mathematisch gemittelt egalisierten.

Wie bereits oben angedeutet, wurden überdies durch die grundsätzlich, vergleichende Differenzwertbildung der Meßwertdateien alle systematischen, also meßgerätebedingten Fehler (s. Frequenzgangnonlinearitäten von der Soundkarte oder Audioanalyse und dem Mikrophon) herausgerechnet.

Resumé

Für eine klanglich optimierte Mischung für Kinder-Tonträger sind folglich der Übertragungsmaß-Einbruch bei 4 bis 5 kHz von -2 dB sowie die Resonanz um 7kHz mit einem Wert von + 2 dB auszugleichen, wenn man von der Erwachsenen-Hörsituation als Referenz ausgeht. Zudem ist es empfehlenswert, die ebenfalls in Abbildung 1 ersichtliche Resonanz um 12 bis 13 kHz mit -2 dB zu entzerren bzw. zu bedämpfen um zudem die „noch gesunden Ohren der Kinder“ bzgl. der Höhenaussteuerung nicht übermäßig für das spätere Leben zu strapazieren. Die Unterschiede in den Übertragungsmaßen zwischen weiblichen und männlichen Probanden (siehe Abbildung 2) zeigen zudem, daß eine individuelle, binaurale Entzerrung der kopfbezogenen Hörsituation keinesfalls als abwegig erscheint.

Weiterführende Untersuchungen wären in jedem Falle sehr zu begrüßen!

Literatur

- [1] Steinke, G., Theile, G.: Surround Sound Forum: Empfehlung für die Praxis. 20. Tonmeistertagung, Seite 487 ff. (Karlsruhe 1998)
- [2] König, F., M.: Neuere Untersuchungen zu psychoakustischen Effekten bei der Kopfhörerbeschallung. 20. Tonmeistertagung, Seite 1078 ff. (Karlsruhe 1998).
- [3] König, F., M.: Gehörbezogene Abhängigkeit von Erwachsenen auf infantile Artikulationen. Fortschritte der Akustik, DAGA 1995, Seite 1171 ff.
- [4] Hammershoi, D., Moller, H.: Efficient Modelling of the head-related transfer functions. 1. Forum Acusticum (Vortrag), Proceedings in Acustica (Jan./Febr. 1996, Vol 82), Seite 87.
- [5] König, F., M.: Untersuchungen zur Variation der Klangbildeigenschaften von Kopfhörern Gemeinschaftstagung 7. CFA / 30. DAGA (Strassburg / FR 2004).