

Loudness perception with headphone presentation compared to loudspeaker presentation in the diffuse field

Sebastian Goossens¹, Grit Bonin², Roman Stumpner¹

¹ Institut für Rundfunktechnik GmbH

² TU Berlin

Einführung

In der Literatur wurde mehrfach berichtet, dass bei Lautsprecher und Kopfhörerwiedergabe unterschiedliche Schallpegel im Ohrkanal nötig sind, um die gleiche Lautheitsempfindung hervorzurufen. Diese Pegeldifferenz ist zudem von der Frequenz des Testschalls und dem Kopfhörertyp abhängig. (vgl. [1], [2], [3]). In der professionellen Kopfhöreranwendung z.B. für Abmischungen, Hörversuche oder die raumakustische Simulation mit Auralisierung können solche Unterschiede sehr störend sein. Es wurde daher untersucht, ob es den Effekt der unterschiedlichen Lautheit bei gleichem Ohrkanalpegel tatsächlich gibt, unter welchen Umständen er auftritt und welche Auswirkungen er hat.

Messungen

Die Untersuchungen fanden im diffusen Schallfeld eines Hallraums statt. Die Anregesignale waren Terzbandrauschen der Mittenfrequenzen 160Hz, 315Hz, 630Hz, 1000Hz, 3150Hz, 6300Hz und 12.500Hz. Den jeweils 10 Probanden wurden die Signale abwechselnd über Lautsprecher und über Kopfhörer dargeboten. Ihre Aufgabe war es, das Kopfhörersignal so lange in der Lautstärke zu verändern, bis es die gleiche empfundene Lautheit wie das Lautsprechersignal (Referenz) hervorgerufen hat. Für die Kopfhörerdarbietung wurden folgende drei Anregungsformen gewählt [4]:

- dichotisch: der Kopfhörer gibt rechts und links unterschiedliche Signale wieder
- diotisch: der Kopfhörer gibt rechts und links dasselbe Signal wieder
- monotisch: nur eine Kopfhörerseite enthält ein Signal.

Für die monotische Darbietung wurde ein Ohr der Versuchsteilnehmer sorgfältig abgedichtet, so dass auch das Lautsprechersignal nur einohrig gehört werden konnte.

Ergebnisse

Es wurden die Differenzen der Schalldruckpegel bestimmt, die bei gleicher Lautheit von Lautsprecher- und Kopfhörersignal im Ohrkanal der 10 Versuchsteilnehmer gemessen worden waren.

$$\Delta L = L_{KH} - L_{LS}$$

Bei einer positiven Differenz liegt der Pegel der Kopfhörerdarbietung (L_{KH}) über dem der Lautsprecherdarbietung (L_{LS}). Fig.1 zeigt die Zentralwerte und die wahrscheinlichen Schwankungen der drei Messreihen (dichotisch (binaural), diotisch und monotisch) im Vergleich. Zunächst wurde der elektrostatische Kopfhörer Stax SR lambda Pro verwendet.

Es fällt auf, dass bei allen Anregungssignalen die Differenz bei 6300Hz nahe 0 dB liegt. Die wahrscheinlichen

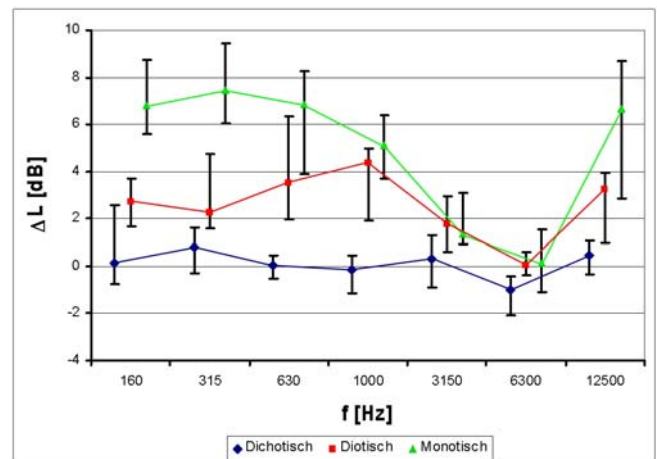


Figure 1: Differences of sound pressure levels (means and interquartile ranges) measured in the ear-canal causing the same loudness by loudspeaker and headphone reproduction $\Delta L = L_{KH} - L_{LS}$. 10 subjects had to adjust a third-octave band noise to the same loudness sitting in the reverberation chamber. The headphone reproduction was carried out in a monotic, diotic and dichotic way. Headphone: Stax SR lambda Pro

Schwankungen bei 6300Hz sind im Vergleich zu den anderen Terzen nicht größer, teilweise sogar signifikant kleiner. Dieses führt zu der Annahme, dass bei 6300Hz charakteristische andere Bedingungen vorliegen.

Bei den Terzen um 160Hz, 315Hz, 630Hz und 12.500Hz können Pegelunterschiede von 3,5dB bis 5dB im Vergleich diotisch zu monotisch und 1,5dB bis 3,5dB im Vergleich dichotisch zu diotisch beobachtet werden.

Bei 1000Hz, 3150Hz und 6300Hz liegen die Ergebnisse für monotisch und diotisch im etwa gleichen Bereich. Das heißt, für beide Anregungssignale ist dieselbe Pegeldifferenz von Lautsprecherbeschallung zu Kopfhörerbeschallung notwendig, um eine gleiche Lautheitsempfindung hervorzurufen.

Vereinfacht gilt folgender Sachverhalt: Die dichotische Kopfhöreranregung bewirkt eine Pegeldifferenz von ca. 0dB, die diotische von ca. 3dB und die monotische von ca. 6dB.

Für den dichotischen Fall bestätigen die vorliegenden Daten die Ergebnisse von Stoll/Theile [2], die ebenfalls im diffusen Schallfeld mit dem Stax-Kopfhörer erhoben wurden.

Für den diotischen Fall ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit den Daten von Fastl et al [1], die damals mit Sinustönen im reflexionsarmen Raum ermittelt

wurden. Lediglich bei 6300 Hz weichen die Ergebnisse signifikant voneinander ab.

Bei den aktuellen Experimenten konnte eine Korrelation der Pegeldifferenzen mit der Lokalisation des Kopfhörersignals beobachtet werden: Wurde eine Schallquelle bei Kopfhörerwiedergabe außerhalb des Kopfes lokalisiert (binaural dichotisch), so wurde für die gleiche Lautheit durch die Versuchsteilnehmer ein Schalldruckpegel im Ohrkanal eingestellt, der gleich dem Schalldruckpegel des zu vergleichenden Lautsprechers war. Bei Im-Kopf-Lokalisation (monotisch, diotisch) der Kopfhörersignale wurde im Ohrkanal ein höherer Schalldruckpegel eingestellt.

In einem weiteren Experiment wurde überprüft, ob sich die Ergebnisse bei inkohärentem Rauschen (rechtes und linkes Kopfhörersignal jeweils statistisches Rauschen, jedoch unterschiedliche Aufnahmen) von denen bei binauraler dichotischer Anregung signifikant unterscheiden. Fig. 2 stellt die Ergebnisse gegenüber.

Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Kopfhöreranregung mit einem dichotisch binauralen und

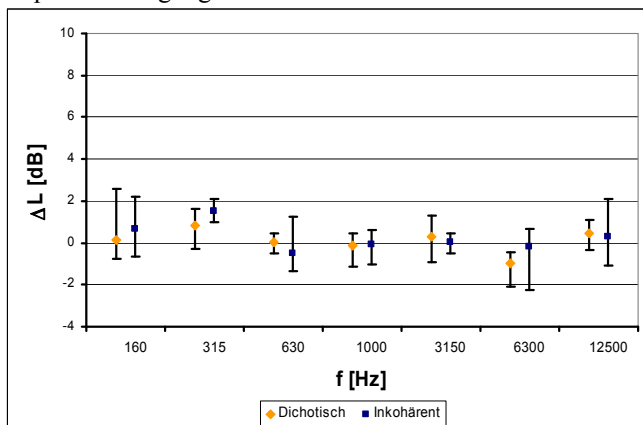


Figure 2: Differences of sound pressure levels (means and interquartile ranges) measured in the ear-canal causing the same loudness by loudspeaker and headphone reproduction $\Delta L = L_{KH} - L_{LS}$. 10 subjects had to adjust a third-octave band noise to the same loudness sitting in the reverberation chamber. The headphone reproduction was carried out in a dichotic and incoherent way. Headphone: Stax SR lambda Pro

einem dichotisch inkohärenten Signal gefunden werden. Ein inkohärentes Signal reicht aus, um eine Außer-Kopf-Lokalisation zu bewirken und bei gleichem Schalldruckpegel im Ohr die gleiche Lautheit für Lautsprecher- und Kopfhörerwiedergabe hervorzurufen. Es wird keine Rauminformation benötigt.

In weiteren Experimenten wurde im Hallraum durch Verkürzung der Lautsprecherabstände der Direktschallanteil deutlich erhöht. Dabei traten aber keine höheren Schallpegeldifferenzen auf.

Die Versuche wurden auch mit einem zweiten Kopfhörertyp durchgeführt. Fig 3 zeigt die Ergebnisse für den ohr-aufliegenden dynamischen Kopfhörer Sennheiser HD 414. Im Vergleich zum Stax Professional (Fig. 1) stimmen die Ergebnisse in den Tendenzen überein, aber weichen im Detail voneinander ab. Die schlechte Reproduzierbarkeit der

Kopfhörerposition führt insbesondere bei hohen Frequenzen zu starken Schwankungen.

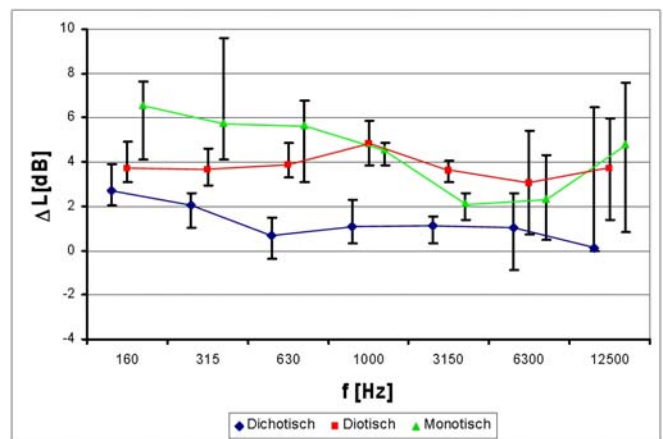


Figure 3: Differences of sound pressure levels (means and interquartile ranges) measured in the ear-canal causing the same loudness by loudspeaker and headphone reproduction $\Delta L = L_{KH} - L_{LS}$. 10 subjects had to adjust a third-octave band noise to the same loudness sitting in the reverberation chamber. The headphone reproduction was carried out in a monotich, diotich and dichotich way. Headphone: Sennheiser HD 414

Zusammenfassung

Gleiche Schalldruckpegel im Ohrkanal können bei Kopfhörer- und Lautsprecherdarbietung zu unterschiedlicher Lautheitsempfindung führen. Bei monotischer und diotischer Kopfhörerdarbietung werden trotz gleichem Lautheitsempfindens deutlich höhere Schalldruckpegel im Ohrkanal gemessen. Bei dichotischer Anregung dagegen verschwinden die Pegelunterschiede weitgehend. Dies gilt sowohl für ein dem Lautsprechersignal entsprechendes binaurales Rauschen mit Rauminformation, welches über Kunstkopf im Hallraum aufgenommen wurde, als auch für ein einfaches inkohärentes Rauschen ohne Rauminformation. Der erhöhte Ohrkanalpegel in der Kopfhörerdarbietung tritt bei Im-Kopf-Lokalisation des Testsignals auf und verschwindet weitgehend bei Außer-Kopf-Lokalisation. Die Ergebnisse sind im Detail vom Kopfhörertyp abhängig.

References

- [1] Fastl et al.: „Schallpegel im Gehörgang für gleichlaute Schalle aus Kopfhörern oder Lautsprechern“, in DAGA 1985 Stuttgart, Bad Honnef.: p. 471-474.
- [2] Stoll / Theile: „Gegenüberstellung von Lautstärke- und Sondenvergleichsmessungen zur Bestimmung des Kopfhörer-Übertragungsmaßes im Diffusen Schallfeld“ in DAGA 1986 Oldenburg, Bad Honnef.: p. 777-780.
- [3] Keidser et al.: „Loudness perception in open an occluded ears“ J. Acoust. Soc. Am. 107 (6), June 2000; p. 3351-3357.
- [4] Blauert, J.: Räumliches Hören. 1974, Stuttgart: S. Hirzel Verlag.
- [5] Bonin, G: Magisterarbeit 2008, TU Berlin