

Bezugsschwellen für audiometrische Kurzzeitsignale

Messungen mit Kurztönen (Tonbursts)

Thomas Fedtke, Utz Richter

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, Deutschland, Email: Thomas.Fedtke@ptb.de

1. Einleitung

Für objektive Messungen des menschlichen Hörvermögens, wie z.B. die Hirnstammaudiometrie (BERA) oder die Messung otoakustischer Emissionen (OAE) sind in der Norm IEC 60645-3 [1] zwei verschiedene Bezugssignale vorgesehen: Clicks und Kurztöne. Clicks gestatten die Ermittlung diagnostisch wichtiger Kennwerte des Gehörs, wie z.B. auraler Verarbeitungszeiten sowie eine generelle Aussage über die Lage der Hörschwelle, nicht aber über deren Verlauf mit der Frequenz. Kurztöne erlauben hingegen die objektive Messung frequenzspezifischer Hörschwellen.

Um vergleichbar messen und die entsprechenden Geräte kalibrieren zu können, sind Bezugs-Hörschwellen für mit diesen Signalen betriebene Schallwandler erforderlich. Während Bezugsschwellen für Clicks bereits genormt werden (ISO/CD 389-6) [2], gibt es bis jetzt noch keine entsprechenden Werte für Kurztöne. Der Hauptgrund dafür sind fehlende Messdaten. Im Rahmen dieser Studie wurden Messungen mit verschiedenen audiometrischen Wandlern unter Anwendung der von der ISO empfohlenen Prüfbedingungen [3] durchgeführt.

2. Äquivalente Spitze-Tal-Bezugs-Schwellenschalldruckpegel

Für die Kalibrierung von Luftleitungs-Audiometern bedient man sich der äquivalenten Bezugs-Schwellenschalldruckpegel, um die an Normal-Versuchspersonen subjektiv bestimmten Hörschwellenwerte zu transportieren. Dieses Verfahren ist erforderlich, weil die derzeit zur Verfügung stehenden Ohrsimulatoren und Kuppler das mittlere Ohr nicht so exakt nachbilden, dass für alle Audiometrikopfhörer gleiche Schwellenpegel am Ohrsimulator eingestellt werden können. Daher wird jeweils für einen Kopfhörer der zur Hörschwelle führende Schalldruckpegel an einem festgelegten Ohrsimulator oder Kuppler gemessen und als äquivalenter Bezugs-Schwellenschalldruckpegel angegeben. Zur Weitergabe der Bezugsschwellen für Kurztöne wird eine weitere Äquivalenz angewandt: Die Zeitfunktion des Kurztons bei der Hörschwelle wird über den entsprechenden Wandler am Ohrsimulator wiedergegeben und aufgezeichnet oder mittels eines Sichtgerätes dargestellt. Anschließend wird der selbe Wandler am selben Kuppler mit einem Sinus-Signal mit der Frequenz der Grundwelle des Kurztons betrieben und die Amplitude des Signals so eingestellt, dass sein Spitze-Tal-Wert dem des Kurztons entspricht. Der Effektivwert des Schalldruckpegels dieses Sinus-Signals ist der äquivalente Spitze-Tal-Bezugs-Schwellenschalldruckpegel..

3. Messbedingungen

3.1 Signale

Als Testsignale kamen Gruppen von Kurztönen nach IEC 60645-3 [1] mit Grundfrequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 8000 Hz bei einer Wiederholrate von 20 Hz zum Einsatz. Die Dauer der Kurztongruppen betrug 1,0 s. Zum Vergleich wurden reine Töne mit den selben Frequenzen mit einer Darbietungsdauer von ebenfalls 1,0 s verwendet.

3.2 Signalerzeugung

Die elektrischen Signale für die Messung der Bezugsschwellen wurden mittels eines Arbitrary-Wave-Form-Generators Typ HP 33120 erzeugt. Ein computergesteuertes Audiometer AUDIO-DATA AD 17 übernahm die Funktion des steuerbaren Abschwächers und des knackfreien Schalters für die Darbietung der Signale.

3.3 Kalibrierung

Die Messung der von der audiometrischen Wandlern abgegebenen Signale erfolgte mit folgenden Ohrsimulatoren/Kupplern:

- HDA 200: Künstliches Ohr nach IEC 60318-1 mit Platte nach IEC 60381-2
- TDH 39: Künstliches Ohr nach IEC 60318-1
- HDA 280: Künstliches Ohr nach IEC 60318-1

Die Bestimmung der äquivalenten Spitze-Tal-Bezugs-schwellenschalldruckpegel wurde nach IEC 60645-3 (siehe Abschnitt 2.) durchgeführt.

3.4 Versuchspersonen

An der Studie nahmen 25 otologisch normale Versuchspersonen nach ISO 389-1 [4] (13 männlich, 12 weiblich, mittleres Alter 20,2 Jahre) teil, welche zusätzlich alle Anforderungen der Prüfbedingungen in [3] erfüllten.

Die Definition der „otologisch normalen Person“ in ISO 389-1 lautet: „eine Person in normalem Gesundheitszustand, die frei von allen Anzeichen oder Symptomen einer Ohrerkrankung ist, deren Gehörgänge nicht durch Cerumen verschlossen sind, und deren Vorgeschichte keine übermäßige Lärmexposition, keine ototoxische Medikation und keine familiäre Schwerhörigkeit enthält.“

3.5 Versuchsdurchführung

Die Bestimmung der Hörschwellen der Versuchspersonen erfolgte sowohl für die Kurztöne als auch für die Reintöne nach einem automatisierten Eingabelungsverfahren mit einer

Schrittweite von 2 dB. Die Messungen fanden in einem reflexionsarmen Raum (203 m³) statt, das Hintergrundgeräusch lag ausreichend unter der Normalhörschwelle.

Die Kopfhörer wurden von den Versuchspersonen unter Aufsicht durch den Versuchsleiter selbst aufgesetzt und mit einem 8-kHz-Ton auf maximale Lautstärke ausgerichtet.

4. Untersuchte audiometrische Wandler

Für folgende audiometrische Wandler wurden die Bezugsschwellen unter den obenstehenden Messbedingungen bestimmt:

- Sennheiser HDA 200 (circumauraler Kopfhörer mit einer Andrückkraft von 9,8 N)
- Telephonics TDH 39 (supra-auraler Kopfhörer mit modul-51-Kissen und einer Andrückkraft von 4,6 N)
- Sennheiser HDA 280 (supra-auraler Kopfhörer mit einer Andrückkraft von 5,3 N)

5. Ergebnisse

5.1 Wiederholbarkeit

Um die Wiederholbarkeit der Messung von äquivalenten Spitze-Tal-Schalldruckpegeln einschätzen zu können, wurden an sechs verschiedenen Tagen Messungen mit dem Kopfhörer TDH 39 an drei Versuchspersonen unter Wiederholbedingungen durchgeführt. Die mittlere Standardabweichung s über alle Frequenzen betrug 1,7 dB. Daraus ergibt sich eine Wiederholbarkeit (berechnet als $2 \cdot \sqrt{2} \cdot s$) von 4,8 dB. Dieser Wert ist ungefähr doppelt so hoch wie der für Clicks [5].

5.2 Äquivalente Spitze-Tal-Schwellen-Schalldruckpegel für 20 Hz Wiederholfrequenz

Die gemessenen äquivalenten Spitze-Tal-Schwellen-Schalldruckpegel (pe ET SPLs) für Gruppen von Kurztönen mit einer Wiederholfrequenz von 20 Hz sind in Tabelle 1 angegeben. Von den Ergebnissen für die einzelnen Versuchspersonen wurden jeweils der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung, der Medianwert und der Modalwert berechnet.

Kopfhörer	Statistik	pe ET SPL in dB re 20 µPa				
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
HDA 200	Mittelwert	21,9	17,5	18,9	28,1	39,9
	(s)	(3,2)	(2,9)	(3,1)	(4,0)	(5,0)
	Medianwert	21,8	18,1	19,9	28,5	39,2
	Modalwert	21,8	16,6	20,9	30,5	40,2
TDH 39	Mittelwert	22,9	19,8	25,0	27,6	39,4
	(s)	(3,8)	(3,1)	(4,1)	(4,2)	(6,1)
	Medianwert	22,1	19,3	25,3	27,2	39,5
	Modalwert	21,9	19,3	24,1	27,2	43,5
HDA 280	Mittelwert	23,5	21,4	26,1	29,3	41,2
	(s)	(3,0)	(2,4)	(3,2)	(4,9)	(5,2)
	Medianwert	23,7	21,3	25,2	29,4	41,0
	Modalwert	25,2	20,3	25,2	29,4	38,5

Tabelle 1: Äquivalente Spitze-Tal-Schwellen-Schalldruckpegel (pe ET SPLs) für mit 20 Hz wiederholte Kurztongruppen als Funktion der Grundfrequenz (Standardabweichung s in Klammern)

Die erweiterte Messunsicherheit der Ergebnisse wurde mit 2,5 dB für Frequenzen von 500 Hz bis 2000 Hz und 3,5 dB für 4000 Hz bis 8000 Hz abgeschätzt (Erweiterungsfaktor $k = 2$).

5.3 Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren

Für die Kopfhörer HDA 200 und TDH 39 liegen unter den gleichen Bedingungen ermittelte Bezugsschwellenwerte für Kurztöne von Legarth und Poulsen [6] vor. Die von den genannten Autoren angegebenen Medianwerte weichen maximal um 3,7 dB von den in dieser Studie ermittelten Werten ab. Die berichteten Standardabweichungen liegen im gleichen Bereich. Unter Berücksichtigung der Messunsicherheit kann deshalb von konsistenten Daten ausgegangen werden. Die zur Kontrolle ebenfalls gemessenen Reinton-Hörschwellen stimmen (mit einer Ausnahme bei 2 kHz für den TDH 39) für diese beiden Hörer im Rahmen der Messunsicherheit mit den genormten Werten in ISO 389 überein.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Für eine Reihe in der Audiometrie gebräuchlicher Wandler existieren nun Bezugsschwellen für Kurztöne nach IEC 60645-3 [1]. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das Verfahren der äquivalenten Spitze-Tal-Bezugsschwellenschalldruckpegel für die Kalibrierung gut anwendbar ist. Die in dieser Studie ermittelten Werte sind für zwei (Sennheiser HDA 200 und Telephonics TDH 39) der drei untersuchten Audiometrikopfhörer mit einer unabhängigen zweiten Messung konsistent und stellen eine gute Basis für die internationale Normung dar. Für weitere Audiometrikopfhörer und für Einsteckhörer sollten in Zukunft ebenfalls Bezugsschwellenwerte gemessen werden, um die internationale Vergleichbarkeit von Hörschwellenmessungen mit Kurztönen zu gewährleisten und eine entsprechende Normung zu ermöglichen.

Literatur

- [1] IEC CD 60645-3: 2004 Electroacoustics – Audiometric equipment – Part 3: Test signals of short duration.
- [2] ISO CD 389-6: 2004 "Acoustics - Reference zero for the calibration of audiometric equipment - Part 6: Reference equivalent threshold sound pressure levels for acoustic test signals of short duration"
- [3] ISO / TC43 / WG1 "Threshold of Hearing": "Preferred test conditions for determining hearing thresholds for standardisation", Scand. Audiol. **25** (1996), 45 – 51
- [4] ISO 389-1 Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 1: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and supra-aural earphones.
- [5] Richter, U., Fedtke, T., Reference Zero for the Calibration of Audiometric Equipment using "Clicks" as Test Signals. International Journal of Audiology. Accepted for publication October 2004.
- [6] Legarth, S., Poulsen, T. (2004), Personal communication.