

Bestimmung der Bezugs-Schwellenschalldruckpegel von „Clicks“

U. Richter, T. Fedtke, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Utz.Richter@ptb.de

1. Einleitung

Zur Messung von akustisch evozierten Potentialen des Hirnstamms (BERA) oder von evozierten otoakustischen Emissionen gibt es seit 1994 /1/ genormte Kurzzeit-Testsignale: zum einen „Bezugs-Clicks“ (also einphasige Rechtecksignale der Dauer $100 \mu\text{s} \pm 10 \mu\text{s}$), zum anderen „Bezugs-Kurtöne“ (Tonimpulse von 5 Sinusschwingungen mit Frequenzen zwischen 500 Hz und 8000 Hz). Die zuständige ISO-Arbeitsgruppe (TC43/WG1) hat dazu aufgerufen, zu diesen Signalen subjektive Hörschwellenpegel zu bestimmen, um damit einen Anschluss der objektiven Audiometrie an die subjektive Audiometrie zu schaffen. In der PTB wurden zu diesem Zweck Messungen mit großen Gruppen von Testpersonen durchgeführt und dabei zunächst die Click-Hörschwellen und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Parametern bestimmt.

2. Hörschwellen-Messungen mit Clicks

Impulspakete von 1 Sekunden Dauer mit genormten Clicks wurden normalhörenden Testpersonen über Kopfhörer vorgespielt und die zugehörigen Hörschwellen bestimmt. Die Abhängigkeit der Ergebnisse vom Typ des Audiometrie-Kopfhörers, von der Wiederholfrequenz, der Impulsdauer und der Polarität der Clicks und eine eventuelle Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht der Testpersonen wurden untersucht sowie mittlere Schwellenschalldruckpegel an den zugeordneten Ohrsimulatoren festgelegt.

2.1 Messbedingungen

Es kamen 4 verschiedene, in der Audiometrie übliche Kopfhörer zum Einsatz: und zwar ein circumauraler (Sennheiser HDA 200, Andrückkraft $F_a = 9,9 \text{ N}$), ein supraauraler (Telephonics TDH39, $F_a = 4,5 \text{ N}$) und zwei Einsteckhörer (Etymotic Research (ER-2 und -3A, Ohrpassstücke: EAR-LINK 3A bzw. EARTIPS ER1-14A). Zwei davon werden auch in Hochton-Audiometern benutzt (HDA 200, ER-2A). Sie wurden mit Hilfe von verschiedenen Ohrsimulatoren kalibriert: HDA 200 mit Hilfe des Ohrsimulators nach der Norm /2/ mit Adapter nach /3/, TDH 39 ebenfalls nach /2/ und die Einsteckhörer mit Hilfe des verschlossenen Ohrsimulators nach der Norm /4/, Bild 2b.

Die elektrischen Einzelsignale der Clicks hatten – an den Klemmen der Kopfhörer gemessen – eine Dauer von $100 \mu\text{s}$ (bzw. $90 \mu\text{s}$) und Anstiegs- bzw. Abfallzeiten von $15 \mu\text{s}$ und erfüllten damit die Anforderungen der Norm /1/. Die Anfangsdruckwellen der resultierenden akustischen Signale in den Ohrsimulatoren betragen $148 \mu\text{s}$ (ER-2), $180 \mu\text{s}$ (TDH 39), $204 \mu\text{s}$ (ER-3A) und $600 \mu\text{s}$ (HDA 200). Die Clicks wurden den Testpersonen in Form von Impulspaketen der Dauer von einer Sekunde

vorgespielt. Die Pakete konnten sowohl nur aus Druckimpulsen, als auch nur aus Sogimpulsen oder aber alternierend aus Druck- und Sogimpulsen bestehen. Die von den Kopfhörern in den Ohrsimulatoren erzeugten akustischen Signale wurden nach der Norm /1/ mit Hilfe eines am Oszillographen gleichgroß eingestellten 1000-Hz-Referenztones kalibriert. Die als Effektivwert des Referenztones angegebenen Schwellen heißen dann äquivalente Spitzen-Tal-Schwellenschalldruckpegel.

Die Hörschwellenmessungen erfolgten rechnergesteuert mit Hilfe der Eingabelungsmethode nach /5/ und einer Schrittweite von 2 dB. Das Audiometer vom Typ Audio-DATA AD 17 erfüllte die Normanforderungen nach /6/. Es wurden 2 Gruppen von je 25 ohrgesunden Testpersonen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren nach /7/ ausgesucht und gemessen. 15 Personen waren in beiden Gruppen gleich. Den Personen wurden die Einsteckhörer vom Testleiter eingesetzt, die anderen Kopfhörer setzten sie sich selbst unter Aufsicht des Testleiters auf. Anschließend konnten sie den Sitz mit Hilfe eines 8000-Hz-Tones optimieren. Gemessen wurde pro Person nur an einem Ohr. Die Messungen fanden in einem reflexionsfreien Raum (203 m^3) der PTB statt, der nach /5, Tabelle 4/ frei von Störlärm war.

Tabelle 1 Äquivalente Spitzen-Tal-Schwellenschalldruckpegel für Click- Impulspakete mit Sog-Polarität als Funktion der Wiederholfrequenz und des Kopfhörertyps (Standardabweichung in Klammern)

Wiederhol- freq. in Hz	Statistik	Äquiv. Spitzen-Tal- Schwel- lenschalldruckpegel in dB		
		HDA200	TDH 39	ER-3A
5	Mittelw.	30,7 (3,8)	--	--
10	Mittelw.	28,2 (2,6)	32,7 (2,8)	38,3 (3,1)
	Median	28,7	32,6	37,3
20	Mittelw.	26,5 (2,2)	31,1 (3,0)	36,9 (3,2)
	Median	26,7	31,1	37,8
30	Mittelw.	25,1 (2,6)	29,7 (3,1)	36,0 (2,6)
	Median	25,7	30,6	36,5

2.2 Vorversuche

Es wurden Hörschwellenmessungen mit Click-Paketen und Sog-Polarität der Clicks je sechsmal an 3 Testpersonen durchgeführt. Die Dauer der Clicks betrug $90 \mu\text{s}$. Als mittlere Wiederhol-Standardabweichung (sd) ergab sich ein Wert von 0,9 dB. Daraus resultiert eine Wiederholbarkeit von $2 \cdot (\sqrt{2}) \cdot \text{sd} = 2,5 \text{ dB}$. Weiter wurden diese Hörschwellenmessungen mit Hilfe einer Gruppe von 25 Testpersonen (13 weibl. (w)/12 männl. (m); mittleres Alter 20,2 Jahre) in Abhängigkeit von der Art des Kopfhörers und der Click-Wiederholfrequenz durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

In der Umgebung von 20 Hz ändern sich die Schwellen aller Kopfhörer nahezu linear um etwa 0,15 dB/ Hz. Als orientierende Messung wurde für den HDA 200 mit 16 Ohren noch ein Wert bei 5 Hz ermittelt. Hier nehmen die Schwellenwerte schon etwas stärker mit der Frequenz ab (ca. 1 dB/Hz).

2.3 Äquivalente Schwellen-Schalldruckpegel

Mit Hilfe einer weiteren Gruppe von 25 Testpersonen (12w/13m; mittleres Alter 21,0 Jahre) wurden Hörschwellen-Messungen mit Click-Paketen in Abhängigkeit von der Polarisationsrichtung der Clicks und vom Typ des Kopfhörers bei der Wiederholfrequenz 20 Hz durchgeführt. Die Dauer der Clicks betrug 100 µs. Die Signale mit verschiedener Polarität wurden bei jeder Testperson unmittelbar hintereinander gemessen, ohne den Sitz des Kopfhörers zu verändern. Die Reihenfolge der Kopfhörer, der Polarität und die Wahl des rechten oder linken Ohres wurden variiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 und in Bild 1 dargestellt.

Tabelle 2 Äquivalente Spitzen-Tal-Schwellenschall-druckpegel für Click- Impulspakete der Wiederhol-frequenz 20 Hz als Funktion der Polarität und des Kopfhörertyps (Standardabweichung in Klammern)

Kopfhör- ertyp	Statistik	Äquiv. Spitzen-Tal- Schwellenschall-druckpegel in dB		
		Druck	Sog	Alternie- rend
HDA200	Mittelw.	26,8 (2,6)	26,4 (2,9)	26,9 (2,9)
	Median	26,8	26,4	26,9
	Modal	28,5	25,8	26,9
TDH 39	Mittelw.	31,0 (3,1)	30,6 (3,0)	30,9 (2,7)
	Median	31,1	30,5	30,9
	Modal	30,4	30,5	27,4
ER-2	Mittelw.	43,6 (2,8)	43,6 (3,5)	43,2 (3,0)
	Median	44,3	43,7	43,7
	Modal	45,8	45,7	43,7
ER-3A	Mittelw.	35,5 (3,0)	36,2 (3,2)	35,4 (2,9)
	Median	36,5	36,6	35,6
	Modal	35,2	36,1	35,1

Die Ergebnisse zeigen keinen statistisch relevanten Unterschied der Hörschwellen zwischen den verschiedenen Click-Polaritäten. Eine eingehende Analyse ergab: die mittleren Hörschwellen der männlichen und weiblichen Testpersonen unterschieden sich nur um statistisch nicht relevante 0,3 dB. Dagegen ergab eine Einteilung der Testpersonen in zwei Altersgruppen (N=13, mittl. Alter=19,1 Jahre und N=12, mittl. Alter =23,0 Jahre) über alle Kopfhörer gemittelt eine statistisch abgesicherte Erhöhung der Hörschwelle um 1,8 dB für die ältere Untergruppe (sd=0,5 dB). Eine der Hauptzielgruppen der BERA sind die Neugeborenen. Ihre Hörschwellen könnten also erheblich von den hier bestimmten Normalhörschwellen abweichen.

3. Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Polarisationsrichtung der Clicks – wie schon vom überschwelligen Bereich

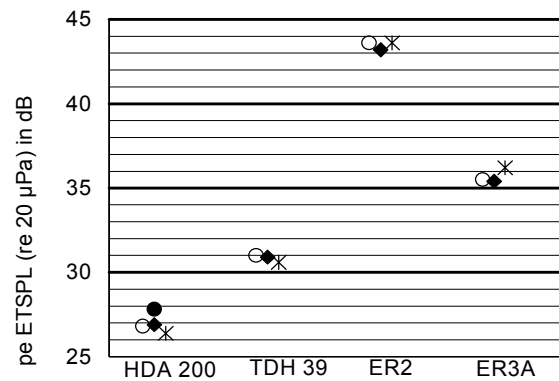


Bild 1 Äquivalente Spitzen-Tal-Schwellenschall-druckpegel für Click- Impulspakete der Wiederhol-frequenz 20 Hz als Funktion der Polarität (Mittelwerte bei Druck O, Sog X, alternierend ◆) und des Kopfhörertyps; Wert für HDA 200 von Poulsen & Daugaard: ●

her bekannt - auch an der Hörschwelle keinen Einfluss auf das Hörempfinden hat. Auch der Einfluss der Impulsdauer (90 µs : 100 µs) ist gering (im Mittel ca. 0,5 dB, siehe Sog-Ergebnisse der Tabellen 1 und 2). Vergleichbare Messungen bei den hier verwendeten Messbedingungen /7/ finden sich in der Literatur nur bei Poulsen und Daugaard /8/. Für den Kopfhörer HDA 200, für alternierende Polarität und eine Wiederholfrequenz von 20 Hz erhielten sie einen Mittelwert des äquivalenten Schwellenschalldruckpegels von 27,8 dB (Median: 28,0 dB). Die Übereinstimmung mit den hier beschriebenen Messungen auf 0,9 dB ist als sehr gut einzustufen.

Die meisten untersuchten Parameter haben also nur einen geringen Einfluss auf die Click-Hörschwellen. Ausgenommen davon ist die Art und der Typ des Kopfhörers. Hier treten Unterschiede bei verschiedenen Kopfhörerarten von bis zu 17 dB, bei gleichen Kopfhörerarten, aber verschiedenen Typen immerhin noch von 8 dB auf (ER-2, ER-3A). Für niedrige Click-Bezugsschwellen ist also die Wahl eines Hochton-Kopfhörers allein nicht hinreichend. Als Ursachen für die Differenzen werden unterschiedliche Ohrsimulatoren und Unterschiede in den Frequenzgängen der Kopfhörer nach Betrag und Phase sowohl in den Ohrsimulatoren als auch am natürlichen Ohr angenommen. Die beiden Einsteckhörer werden zwar am gleichen Ohrsimulator gemessen, sie haben aber Ohrpassstücke mit unterschiedlichen Durchmessern und sie differieren schon in ihren Reintonhörschwellen stark: 5,5 dB (ER-3A) zu 17 dB (ER-2) bei 4 kHz. Als nächster Schritt sollen einmal alle Kopfhörer am gleichen Kunstkopf kalibriert werden

4. Literatur

- /1/ DIN EN 60645-3; /2/ DIN EN 60318-1; /3/ DIN EN 60318-2; /4/ DIN EN ISO389-2; /5/ DIN ISO 8253-1; /6/ DIN EN 60645-1; /7/ ISO/TC43/WG1: in Scand. Audiol. 25, 1996, p.45 – 52; /8/ Poulsen & Daugaard: in Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Computational Hearing, Il Ciocco, 1998, p. 245 – 249.