

Hörschwellen und AEP-Schwellen von Clicks und phasenoptimierten Chirp-Signalen für verschiedene Audiometrie Hörer

Johannes Hensel¹, Mario Cebulla², Claus Elberling³, Thomas Fedtke¹,
Klaus-Vitold Jenderka¹, Wolfgang Köpke⁴, Ekkehard Stürzebecher⁵

¹ Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, Korrespondent: Email: johannes.hensel@ptb.de,
² Universitätsklinikum, 97080 Würzburg, Email: mario.cebulla@mail.uni-wuerzburg.de, ³ Oticon A/S, DK-3070 Snekkersten, Dänemark, Email ce@oticon.dk, ⁴ MAICO Diagnostic, D-10587 Berlin, Email: wk@maico-diagnostik.com, ⁵ WDH Denmark, c/o D-15370 Petershagen, Email: e.stuerzebecher@t-online.de

Einleitung

Die akustisch evozierten Potentiale (AEP) sind durch akustische Stimuli ausgelöste Komponenten des Elektro-Enzephalogramms, das mit Elektroden an der Kopfhaut abgeleitet wird. Ihre Auswertung erlaubt eine Funktionsprüfung des Gehörs (Screening) und audiologische Differentialdiagnose, ferner Hörschwellenschätzung: Dazu definiert man als „AEP-Schwelle“ denjenigen Reizpegel, bei welchem die Antwort im Störsignal gerade noch detektierbar ist. Je wirksamer die Reiz-Signale, desto niedriger sind wegen größerer Störabstände die AEP-Schwellen, und desto besser kann man aus ihnen auf die subjektive Hörschwelle schließen.

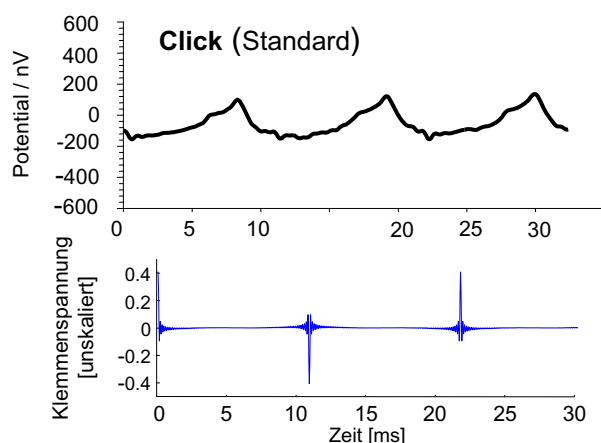


Abbildung 1: unten: Clickreiz, Hörer-Klemmenspannung, unskaliert, bei 30 dB HL; oben: FAEP-Antwort-Potential (ASSR) in nV

Seit langem versucht man, für die frühen AEP (FAEP) effektivere Reize zu verwenden als die "Clicks" genannten Kurzzeitsignale, die zwar steilflankig sind, was für die FAEP günstig ist, die aber wegen der Frequenz- und Laufzeitdispersion entlang der Basilarmembran (BM) nicht optimal sind. Abb. 1 zeigt einen Click, der ein über den wesentlichen Teil des Hörbereichs ebenes Spektrum hat, und bei dem alle Frequenzen zu den Impuls-Zeiten gleichphasig schwingen. Von diesem Signal werden die charakteristischen Orte (CO) der BM alle nacheinander angeregt (zuerst hohe Frequenzen, zuletzt tiefe), so dass eine zeitlich verschmierte Nervenimpulsfolge den Hörnerv durchläuft. Oben ist die zugehörige Auditory-Steady-State-Response (ASSR) gezeigt. Laufen aber die tiefsten Frequenzen zuerst ein, zum Schluss die höchsten, wie bei dem in der unteren Spur von Abb. 2 gezeigten Chirp (der sich nur im Phasenspektrum vom Click unterscheidet), so dass alle gleichzeitig ihren CO erreichen, dann feuern die Haarzellen gleichzeitig: die Nervenimpulse

laufen synchronisiert den Hörnerv hinauf und erzeugen dadurch höhere AEP-Wellen (Abb. 2 oben).

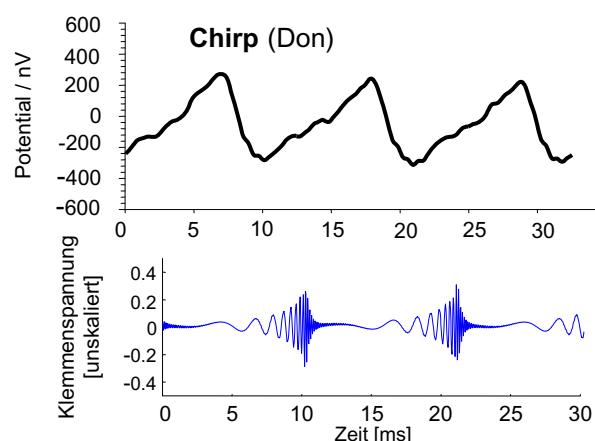


Abbildung 2: unten: Chirpreiz, Hörer-Klemmenspannung, unskaliert, bei 30 dB HL; oben: FAEP-Antwort-Potential (ASSR), in nV

Die Unterschiede im Nullphasenwinkel (NPW) zwischen Chirp und Click folgen aus Laufzeiten auf der BM. Diese können gemessen oder nach Modellen berechnet werden [1]. Für die vorliegende Untersuchung wurden die Chirp-NPW aus von Don [2] gemessenen Gruppenlaufzeiten errechnet.

Wenn man die Überlegenheit eines Chirps darstellen will, muss man zeigen, dass er bei gleichem Pegel über der Hörschwelle wirksamer ist. Dazu muss man die (absolute) Hörschwelle feststellen, d. h. den Pegel „0 dB HL“ (in dB SPL) messen, nach ISO 389-9 mit einer Gruppe von 25 hörgesunden jungen (18-25 Jahre) Testpersonen (VP). Das ist aufwendig. Die Frage stellte sich, **ob es eine prinzipielle Vereinfachungsmöglichkeit gibt.**

Methode

Aus Vorstudien und Erfahrungen ergab sich folgende These:

Hörschwellen zweier Signale sind gleich, wenn das Amplitudenspektrum absolut gleich ist.

Im positiven Falle müsste man für solche Signale nicht separat die Hörschwelle bestimmen, sondern nur für eines von ihnen.

Für die Überprüfung dieser These wurde Folgendes angenommen: Wenn man die These für je einen Audiometrie-Kopfhörer mit guter (g) und mit nur sehr mäßiger (m) Übertragungsqualität prüft, und das Ergebnis gleich ausfällt, dann gilt es auch für jeden beliebigen Hörer, der qualitativ

dazwischen liegt. Gewählt wurden die weit verbreiteten

- (g) Einsteckhörer ER-3A,
- (m) Knochenleitungshörer Radioear B71,

zusätzlich der hochwertige Hörer ER-2 als Kontrolle.

Die Signale wurden mit einer PC-Soundkarte mit 44.1 kHz Abtastrate erzeugt; die Reizrate war 20 Hz. Die Schwellenbestimmung erfolgte unter Verwendung eines Audiometers nach IEC 60645-1 zur Darbietung der Stimuli nach der Eingabelungsmethode gemäß ISO 8253-1.

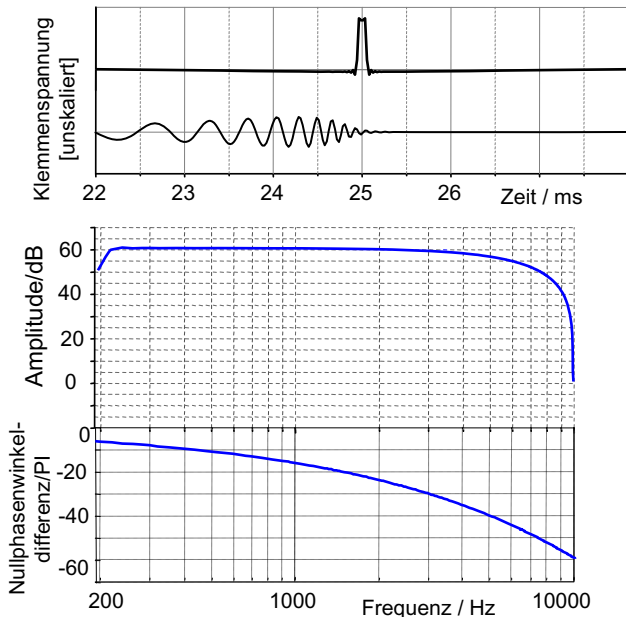


Abbildung 3: Click und Chirp, Hörer-Klemmenspannung oben: Zeitverläufe von Click und Chirp
Mitte: Pegelspektrum, unskaliert, identisch für beide
unten: Spektrum der Nullphasenwinkeldifferenz Chirp-Click

Die Signale und Spektren zeigt Abb. 3. Der Übersichtlichkeit wegen ist für die Phasen nur die Differenz der Nullphasenwinkel zwischen Chirp und Click aufgetragen (in Vielfachen von PI).

Messungen

Ergebnis war die Bestätigung der These für die beiden konventionellen Hörer. Tabelle 1 zeigt die Daten der statistischen Auswertung. Die Messreihen waren nicht signifikant verschieden. Beim ER 2 dagegen ergab sich ein Hörschwellenunterschied im Mittel von 0,36 dB zugunsten des Chirps, und die Messreihen waren hoch signifikant verschieden.

Tabelle 1: Schwellendifferenzen und Statistik

Statistik		ER-3A	B71	ER-2
Chirp-Click Schwellendifferenz/dB	Median	0,8	0,5	0
	Mittelwert	0,09	0,04	0,36
Tests für gepaarte Stichproben: p-Wert	t-Test:	0,59	0,88	0,014
	Wilcoxon:	---	---	0,021

Diskussion

Die Erklärung dafür, dass mit konventionellen Hörern der Chirp zwar überschwellig dem Click (bei den AEP) überlegen, aber subjektiv an der Hörschwelle gleichwertig ist,

muss (neben dem prinzipiellen Unterschied zwischen AEP und Hören) Folgendes berücksichtigen:

- Die Erregung der BM wächst mit ca. 3 dB/Okt. wie bei Filtern konstanter relativer Bandbreite; die Frequenzspektren der Hörersignale (Amplitudenspektrum mal Übertragungsfrequenzgang, siehe Abb. 4) wirken wie Rauschen, das in Terzfilter fällt.
- Die Kurve des kleinsten hörbaren Schalldrucks (MAF, minimum audible field) am Trommelfell, gezeigt in Abb. 4, schneidet aus den Spektren der Hörersignale die Intervalle aus, die für die Hörwahrnehmung übrig bleiben. Die wohlberechneten Phasen des Chirps können umso weniger bewirken, je schmaler das Restintervall bleibt. Der Frequenzgang des ER-2 verläuft ebener als der des ER-3A; das Restintervall ist deshalb für ER-2 größer. So kann die Chirp-Phase sich hier stärker auswirken.
- Die Daten für die Phasenoptimierung wurden mit ER-2 ermittelt und sind deshalb für ER-3A nur suboptimal.

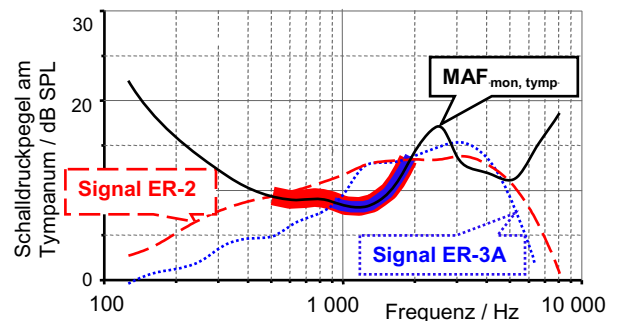


Abbildung 4: Minimum Audible Field (MAF) am Trommelfell, verglichen mit dem Amplitudenspektrum „Signal“ von Click bzw. Chirp, geliefert von ER-3A und ER-2.

Die Click-Chirp-Gleichheit der Hörschwelle beim ER-3A ist vereinbar mit den Ergebnissen von Uppenkamp et al. [3], die keinen Unterschied in den **Ruhe**hörschwellen von Auf- und Abwärtschirps fanden.

Die größere Wirksamkeit der Chirps im überschwelligen Reizpegelbereich (d. h. bzgl. der AEP) könnte sich dadurch erklären, dass überschwellige Isophonen im Mittel etwas ebener (flacher) verlaufen als schwelennahe und das wirksame Frequenzintervall breiter ist.

Literatur

[1] Elberling, C. ; Don, M. ; Cebulla, M. ; Stürzebecher, E.: Auditory steady-state responses to chirp stimuli based on cochlear traveling wave delay. In: JASA 122 (2007), Nr. 5, S. 2772–2785

[2] Don, M. ; Kwong, B. ; Tanaka, C.: A diagnostic test for Menière’s disease and cochlear hydrops: Impaired high-pass noise masking of auditory brainstem response. In: Otol. Neurotol. 26 (2005), S. 711-722

[3] Uppenkamp, S. ; Fobel, S. ; Patterson, R. D.: The effects of temporal asymmetry on the detection and perception of short chirps. In: Hearing Research 158 (2001) 71-83