

Interpretation von Bezugs-Schwellschalldruckpegeln neuer Kurzzeitsignale für die objektive Audiometrie

Johannes Hensel¹, Thomas Fedtke

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, ¹E-Mail: johannes.hensel@ptb.de

1. Einleitung

Kurzzeitsignale für die objektive Audiometrie, besonders für die Hirnstammaudiometrie (BERA: Brain stem evoked response audiometry), sollen möglichst wirksam sein und hohe Potentiale bei geringem Pegel und kurzer Mittelungsdauer erzeugen. Nach DIN EN ISO 389-6 erfolgt die Festlegung von Bezugswerten für die Kalibrierung der audiometrischen Geräte in Form von Spitze-Tal-äquivalenten äquivalenten [sic] Bezugs-Schwellschalldruckpegeln (peak equivalent Reference Equivalent Sound Pressure Level, peRETSPL). Das Kalibrierverfahren benötigt nur wenig apparativen Aufwand. Sowohl bei der Ermittlung der Bezugs-Hörschwelle an einer Versuchspersonengruppe als auch bei der Kalibrierung der Audiometer braucht man nur den Signalgenerator, einen akustischen Kuppler oder Ohrsimulator mit kalibriertem Messmikrofon, ein Sichtgerät für die zeitliche Kurvenform und einen einfachen Schallpegelmesser.

Ermittlung des Bezugs-Schwellschalldruckpegels:

Nach der Feststellung, bei welcher Kopfhörer-Klemmenspannung die Versuchspersonengruppe das Kurzzeitsignal mit 50% Wahrscheinlichkeit hört, wird der zugehörige Schalldruck mit derselben Klemmenspannung in einem akustischen Kuppler oder Ohrsimulator gemessen, wie Abb. 1 zeigt. Dabei wird das Kurzzeitsignal durch ein Sinussignal mit gleichem Spitze-Tal-Schalldruck ersetzt, dessen unbewerteter Pegel dann den peRETSPL-Kalibrierwert bildet.

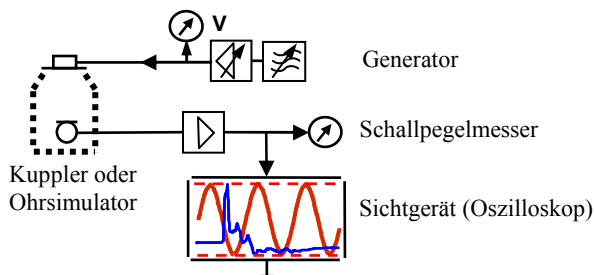


Abbildung 1: Messung des Spitze-Tal-äquivalenten äquivalenten Bezugs-Schwellschalldruckpegels mit dem Schallpegelmesser. Der Generator liefert alternativ Kurzzeitsignal oder Sinussignal.

Audiometer-Kalibrierung: Der Kopfhörer wird auf den bei der Bezugsschwellenmessung festgelegten Kuppler oder Ohrsimulator gesetzt und der Ausgangspegel des Audiometers so justiert, dass das Kurzzeitsignal einen Spitze-Tal-Schalldruck erzeugt, der dem peRETSPL-Wert entspricht. Abb. 2 zeigt schematisch, dass ein herkömmliches Klicksignal (a) und ein neuerdings für die BERA als vorteilhafter erkanntes Chirpsignal (b) bereits als Klemmenspannungen wesentlich verschiedene Spitze-Tal-Amplituden besitzen. Ferner erzeugt der Chirp trotz der kleineren Spitze-Tal-

Amplitude das größere akustisch evozierte Potential [1] (hier nicht gezeigt).

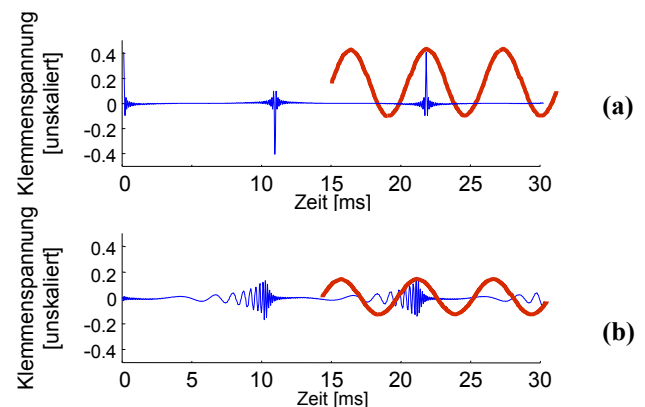


Abbildung 2: Signale mit identischem Amplitudenspektrum: Hörer-Klemmenspannung, unskaliert, bei 30 dB HL; (a) Klick, (b) Chirp; **fett:** Spitze-Tal-äquivalente Sinussignale

Bereits in [2] wurde gezeigt, dass Signale mit identischem Amplitudenspektrum der Kopfhörer-Klemmenspannungen (aber unterschiedlichem Phasenspektrum), wie die beiden in Abb. 2 gezeigten Signale, bei Verwendung konventioneller Audiometrie Hörer gleiche Hörschwellen erzeugen, obgleich die ermittelten peRETSPLs verschieden sind.

2. Nachteile des peRETSPL

Der peRETSPL stellt also keinen hörphysiologisch interpretierbaren Zusammenhang zur Hörschwelle her. Grund ist seine Abhängigkeit vom Spitzenwertfaktor des Signals.

Ohrsimulator/Kuppler-Abhängigkeit des peRETSPL:

Abb. 3 zeigt ein Beispiel für die Ermittlung des peRETSPL mit Bezugsimpulsen (Klicks) nach DIN EN 60645-3 für einen Audiometrie-Kopfhörer. Der Ohrsimulator nach DIN EN 60318-1 verursacht eine schmalbandige Signalantwort (c), während der akustische Kuppler nach DIN IEC 60318-3 eine breitbandige Antwort hervorruft (e). Daraus folgen stark differierende peRETSPL-Werte.

Abhängigkeit des peRETSPL vom Zeitsignal-Verlauf:

Trotz sehr ähnlicher Amplitudenspektren von Klick und Chirp ergeben sich weit auseinander liegende peRETSPL-Werte, wie Abb. 4 für denselben Kopfhörer wie in Abb. 3 zeigt. Auch sind, bei identischen Kopfhörer-Klemmenspannungen, die Bezugswerte verschiedener Ohrsimulatoren bzw. Kuppler aufgrund gerätespezifischer Resonanzeigenschaften widersprüchlich, siehe Tab. 1: Am Ohrsimulator ergibt sich für den Chirp ein höherer Bezugswert als für den Klick; am Kuppler sind die Verhältnisse umgekehrt.

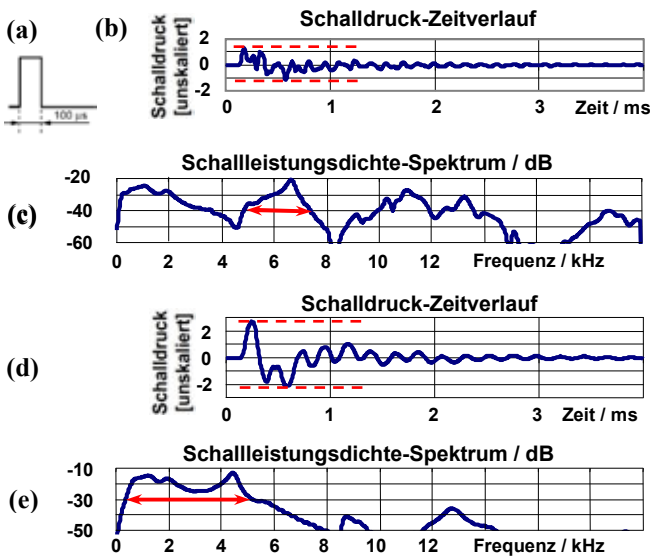


Abbildung 3: Abhängigkeit der Bezugsschwelle eines Audiometrie-Kopfhörers vom Ohrsimulator/Kuppler. (Doppelpeile: maßgebliche Bänder; gestrichelte Linien: Spitze-Tal-Amplituden.) (a): Bezugsimpuls nach DIN EN 60645-3; (b) u. (c): Ohrsimulator (IEC 60318-1): 33 dB peRETSPL; (d) u. (e): Kuppler (IEC 60318-3): 39 dB peRETSPL

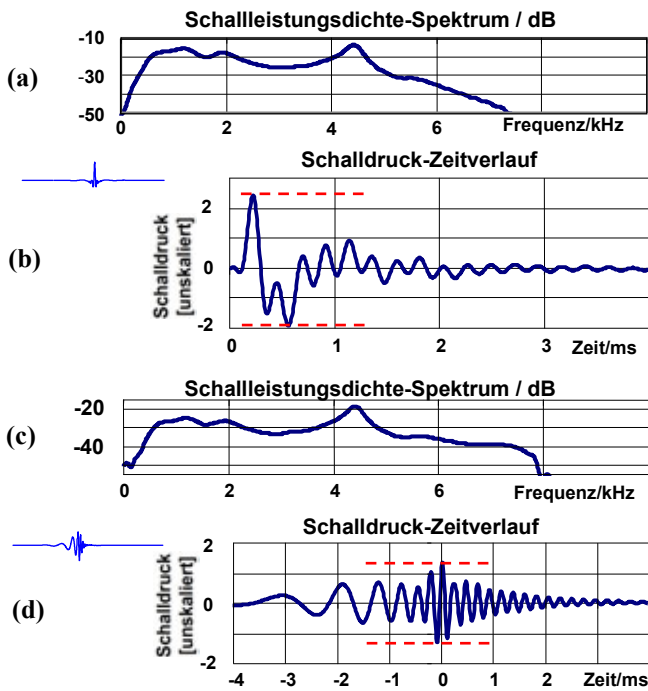


Abbildung 4: Bandbegrenzte (200 Hz bis 8 kHz) Signale mit sehr ähnlichen Amplitudenspektren, gleicher Kopfhörer wie in Abb. 3: Abhängigkeit des Bezugswertes von der Signalform, gemessen im Kuppler (IEC60318-3). (a) u. (b): Klick: 38 dB peRETSPL; (c) u. (d): Chirp: 33 dB peRETSPL

3. Hörphysiologisch adäquater Bezugswert erwünscht

Aus den genannten Gründen besteht Bedarf an einem Kalibrierverfahren, das Bezugswerte mit hörphysiologisch adäquater Relation zur Hörschwelle erzeugt, z. B. könnte ein kleiner Bezugswert ein für das Hören sehr wirksames Signal bezeichnen, ein hoher Bezugswert aber ein wenig wirksames. Folgende Signaleigenschaften wurden auf ihre Eignung

Tabelle 1: Bezugs-Schwellenschalldruckpegel

Signale (200 Hz – 8 kHz)	Ohrsimulator IEC 60318-1	Kuppler IEC 60318-3
	29 dB peRETSPL	38 dB peRETSPL
	32 dB peRETSPL	33 dB peRETSPL

untersucht: Effektivwert, Spitzenwert, Zeitfunktion und Phasenspektrum sowie Anstiegszeiten der Signalfanken.

All diese ergaben keinen systematischen Zusammenhang, der die Messgröße in einen hörphysiologisch adäquaten Bezugswert überführen könnte. Allerdings besitzen Signale mit identischen Amplitudenspektren die gleiche Hörschwelle [2]. Daher kann das Problem umgangen werden, indem solche Signale in Klassen zusammengefasst werden, wie in Abb. 5 skizziert ist. In jeder Klasse muss nur eines der Signale kalibriert werden, sofern der Hersteller sicherstellt, dass die Spektren unveränderlich sind, etwa durch digitale Speicherung in ROMs. Die Kalibrierung des Signals, das die Klasse vertritt, erfolgt wie üblich mittels peRETSPL nach DIN EN ISO 389-6.

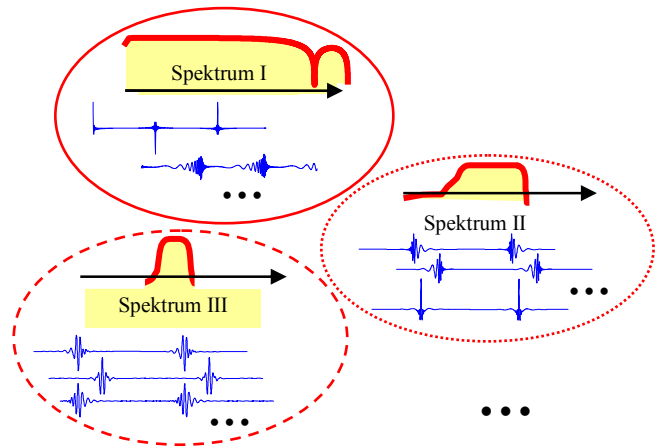


Abbildung 5: Einordnung der Testsignale in Klassen mit gleichem Amplitudenspektrum. Rot: Spektren. Blau: Zeitsignale. In jeder Klasse muss nur eines der Signale kalibriert werden.

4. Zusammenfassung

Der Spitze-Tal-äquivalente äquivalente Bezugs-Schwellenschalldruckpegel (peRETSPL) (DIN EN ISO 389-6) ist apparativ und prozedural praktikabel, aber ungeeignet, einen hörphysiologischen Zusammenhang zwischen Kurzzeitsignal und Hörschwelle darzustellen. Ohrsimulator und Kuppler (DIN EN 60318-1 und -3) ordnen spektral ähnlichen Kurzzeitsignalen keine verwandten peRETSPL-Werte zu. Es wird eine pragmatische Lösung dieses Dilemmas durch die Definition von Testsignal-Klassen mit identischen Amplitudenspektren vorgeschlagen.

Literatur

[1] Elberling, C. ; Don, M. ; Cebulla, M. ; Stürzebecher, E.: Auditory steady-state responses to chirp stimuli based on cochlear traveling wave delay. JASA 122 (2007), 2772–2785
 [2] Hensel, J. ; Cebulla, M. ; Elberling, C. ; Fedtke, T. ; Jenderka, K.-V. ; Köpke, W. ; Stürzebecher, E.: Hörschwellen und AEP-Schwellen von Clicks und phasenoptimierten Chirp-Signalen für verschiedene Audiometrie Hörer. DAGA 2008