

Objektive Hörschwellenschätzung mit gewichteten extrapolierten DPOAE I/O-Funktionen in der klinischen Anwendung

J. A. Oswald¹, T. Janssen²

¹Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme (Prof. Färber), Technische Universität München, ²HNO-Klinik (Prof. Arnold), Klinikum Rechts der Isar der Technischen Universität München

Problemstellung

Ein großes Bestreben der in der Audiologie tätigen Physiker und Ingenieure ist es, ein Verfahren zu entwickeln, das die Möglichkeit bietet, die Hörschwelle objektiv und automatisch zu bestimmen. Hier bieten sich die mit stationären Signalen ausgelösten DPOAE an.

Methode und Patienten

DPOAE I/O-Funktionen wurden an 796 innenohrschwerhörigen Ohren im Pegelbereich zwischen $L_2=20$ und $L_2=65$ dB SPL bei bis zu 50 Frequenzen im Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 8000 Hz aufgenommen. Die Einstellung des Pegel- und Frequenzverhältnisses der Primärtöne erfolgte einheitlich gemäß Pegelschere ($L_1=0.4L_2+39$, $f_2/f_1=1.2$) (Kummer et al., 2000). Wegen des linearen Zusammenhanges zwischen DPOAE-Schalldruck und Primärtonpegel (Boege und Janssen, 2002) war eine Extrapolation der DPOAE I/O-Funktionen mit

einfacher linearer Regression möglich. Zur höheren Gewichtung schwelennah ausgelöster und störungsarmer DPOAE wurde eine gewichtete lineare Regression der Form $p_{DP}(L_2) = a + bL_2$ mittels Minimierung: $\text{Min} [\sum w_1 w_2 (p_{DP}(L_2) - p(L_2))^2]$ durchgeführt, wobei $w_1 = z$ ($70 - L_2$) und $w_2 = \text{SNR}(L_2)/6\text{dB}$ waren.

Die Größenordnung der beiden Gewichte wurde mit z (z.B. $z=0.025$) aufeinander abgeglichen. Die Hörschwelle wurde aus dem Schnittpunkt der extrapolierten Regressionsgeraden mit der Primärtonpegelachse ermittelt ($-a/b$). Alternativ bietet die Bestimmung der Hörschwelle aus $[(n-a)/b]$ die Möglichkeit den niedrigen Rauschlevel (z.B. $n=-30$ dB SPL bei 4 kHz) als minimale Detektionsschwelle der Emissionen festzusetzen. Es wurden nur DPOAE mit einem Signal-Rausch-Abstand (SNR) von mindestens 6 dB und DPOAE I/O-Funktionen mit dem Linearitätsmaß $r^2 > 0.7$ akzeptiert.

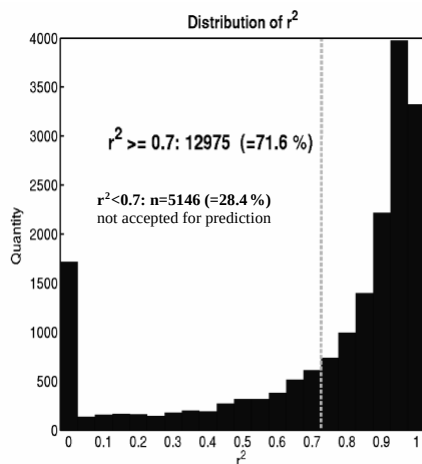


Abb. 1: r^2 -Verteilung der DPOAE I/O-Funktionen.

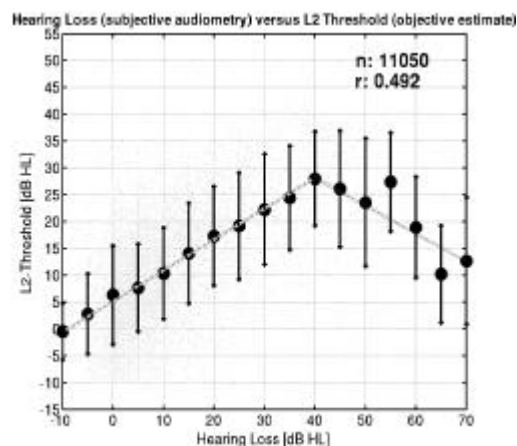


Abb. 2: Die Mittelwerte der objektiven Hörverluste (L_2 Threshold) verlaufen zunächst stetig anwachsend mit dem subjektivem Hörverlust. Ab 45 dB SPL ändert sich dieser Zusammenhang.

Ergebnisse

Der Vergleich der aus den extrapolierten DPOAE I/O-Funktionen ermittelten DPOAE-Schwelle mit der subjektiven Hörschwelle (interpoliertes Tonschwellenaudiogramm) zeigt eine hohe Korrelation von $r=0.49$ und eine mittlere Differenz von nur 0.04 dB.

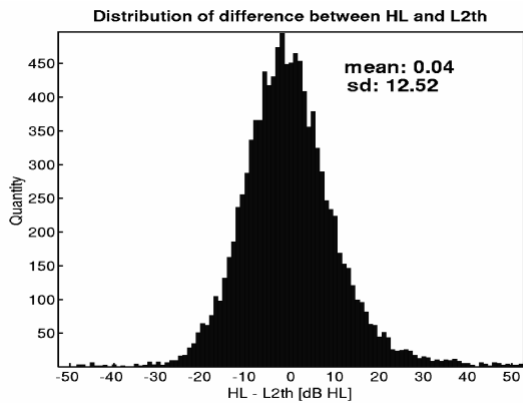


Abb. 3: Die Verteilung des Schätzfehlers: subjektiver Hörverlust - objektiver Hörverlust

Schluss zu, dass eine objektive, automatisierte Hörschwellschätzung mittels DPOAE I/O-Funktionen bei Patienten mit leicht- und mittelgradigen Hörstörungen relativ zuverlässig durchgeführt werden kann.

Eine Auswertung der Steigung der DPOAE I/O-Funktionen zwischen $L_2=40$ dB und $L_2=60$ dB ergibt eine ähnliche Abhängigkeit bezüglich des subjektiven Hörverlustes. Dies könnte auf eine zunächst mit dem Hörverlust einhergehenden Kompressionsverlust hindeuten. Bei größeren Hörverlusten befinden sich die Steigung der Wachstumsfunktion jedoch wieder fast im Normalbereich. In dieser Hörverlustklasse können jedoch fast ausschließlich bei Tinnituspatienten Emissionen gemessen werden. Deshalb sollte nicht von einer Normalisierung der Kompression, sondern vielmehr von einer Überlagerung mit einem anderen Mechanismus ausgegangen werden.

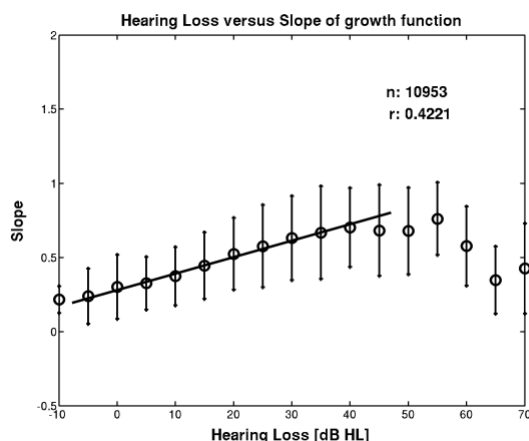


Abb. 4: Korrelation der Steigung der DPOAE I/O-Funktionen (slope zwischen $L_2=40$ dB und $L_2=60$ dB) mit dem subjektiven Hörverlust.

Erst ab Hörverlustsklassen über 50 dB HL weicht die objektive Schätzung systematisch von der subjektiven Hörschwelle ab. Neben einer generellen Unterschätzung des Hörverlustes in höheren Hörverlustklassen ergibt die frequenzselektive Auswertungen spezifisch größere Abweichungen im Frequenzbereich um $f_2=2$ kHz und um $f_2=8$ kHz. Durch Unzulänglichkeiten in der Kalibrierung der Ohrsonde vor allem bei längeren Gehörgängen und technischen Unzulänglichkeiten der Ohrsonde im Frequenzbereich um 8 kHz könnten diese Fehler in Zukunft kompensiert werden.

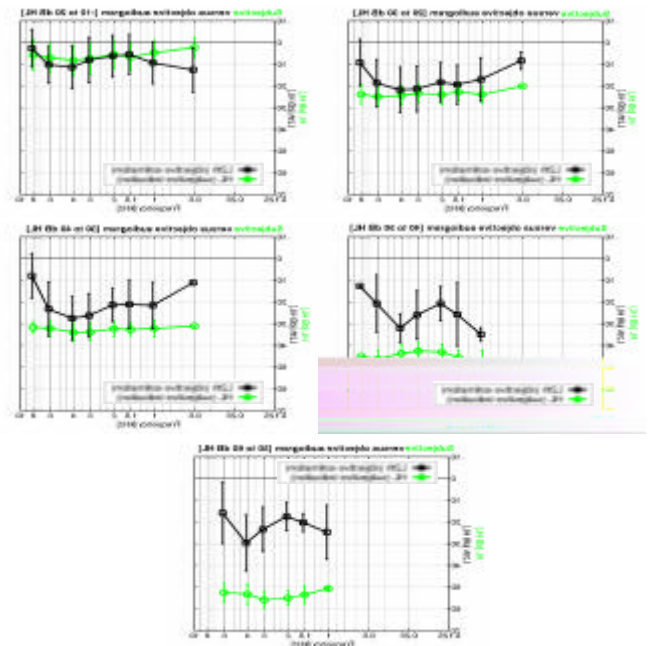


Abb. 5: Frequenzspezifischer Vergleich von objektiver Schätzung und subjektiven Hörverlust – analysiert für die jeweiligen Hörverlustklassen.

Zukünftige Studien müssen zeigen, inwieweit durch Schalldruckkorrektur am Mikrofonort im Gehörgang (stehende Wellen) eine verbesserte Hörschwellschätzung möglich ist. Durch die systematische Unterschätzung der Hörschwelle in höheren Hörverlustklassen mit der einfachen Extrapolationsmethode, besteht der Bedarf an weiterer Optimierung der Methode in der klinischen Anwendung. Eine ausführlichere Veröffentlichung der Daten ist für 2002 geplant.

Literatur

- P. Boege and T. Janssen (2002) Pure-tone threshold estimation from extrapolated distortion product otoacoustic emission I/O-functions in normal and cochlear hearing loss ears. JASA (accepted for publication)
- P. Kummer, T. Janssen, P. Hulin, W. Arnold (2000) Optimal L1-L2 primary tone level separation remains independent of test frequency in humans. Hearing Research 146: 47-56