

# OAE in der Klinik – Einsatz im klinischen Alltag

Sebastian Hoth

Univ.-HNO-Klinik Heidelberg

**Schlüsselwörter:** Otoakustische Emissionen, Signalnachweis, Qualitätskriterien, audiologische Diagnostik, Sensitivität, Spezifität

## Einleitung

Vier Jahrzehnte nach ihrer Erstbeschreibung und drei Jahrzehnte nach Einführung der ersten OAE-Praxisgeräte haben die otoakustischen Emissionen (OAE) eine Laufbahn vom spannenden Forschungsgebiet zum täglich genutzten Arbeitspferd vollzogen. Schon allein dadurch erscheint es berechtigt, die Frage nach der Zuverlässigkeit der aus den Untersuchungen abgeleiteten diagnostischen Aussagen zu betrachten. Dabei wird der in der Reststörung zum Ausdruck kommenden Qualität der Messung besondere Aufmerksamkeit zuteil.

## Datenmaterial und Auswertung

Grundlage der Betrachtungen sind die an  $N = 600$  Ohren im Alltag einer großen Universitätsklinik gemessenen transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen (TEOAE) und otoakustischen Distorsionsprodukte (DPOAE). Eingeschlossen wurden alle im Zeitraum von Juni bis Dezember 2018 durchgeführten Messungen, bei denen vom selben Untersuchungstag ein Tonaudiogramm vorlag. Ausschlusskriterien waren Schalleitungskomponenten über 10 dB bei mindestens einer Prüffrequenz im Frequenzbereich von 250 Hz bis 4 kHz, Hinweise auf postsynaptische (neurale) Ursachen der Hörstörung (auffällige BERA), Kopf- und Hirntumoren, Fälle mit unzuverlässigen Angaben in der Tonaudiometrie, Gutachtenfälle, Messungen im Rahmen des Glyceroltests, Messungen an Kindern unter 14 Jahren und missglückte Messungen (Abbruch, Unruhe oder Anomalie von Gehörgang oder Mittelohr). Das Alter der Patienten lag im Bereich von 14 bis 92 Jahren, die Geschlechterzusammensetzung betrug 126 (w) zu 174 (m).

Die Messungen wurden mit dem System Otodynamics ILO92 Version 5.60 durchgeführt. Für die TEOAE-Messung wurden biphasische Clicks mit je 80  $\mu$ s Plateau bei einem Pegel von  $(80 \pm 3)$  dB p.e. SPL eingesetzt, die Mittelung erfolgte über 260 Stimulus-Sequenzen im Nonlinear Mode. Die DPOAE wurden bei  $f_2 = 1, 2$  und 4 kHz  $= 1.2 * f_1$ , mit  $L_1 = L_2 = 65$  dB SPL gemessen und über mindestens 32 Signalabschnitte gemittelt.

Ein audiologisch qualifizierter und in Bezug auf die zugehörige Hörschwelle und Reproduzierbarkeit verblindeter Untersucher klassifizierte jede einzelne Messung in die Kategorien „OAE-positiv“ und „OAE-negativ“. Die weitere Auswertung konzentrierte sich auf die Beziehungen zwischen diesen Kategorien und der tonaudiometrischen Hörschwelle einerseits sowie den das Signal beschreibenden Parametern andererseits.

## OAE und tonaudiometrische Hörschwelle

Es ist hinreichend bekannt, dass die OAE bei normalhörenden Ohren mit einer Inzidenz von nahezu 100% angetroffen werden und dass die Inzidenz mit zunehmendem Hörverlust bei einer Grenze, die für die TEOAE bei ca. 30 dB und für die DPOAE bei ca. 50 dB liegt, auf 50% absinkt um sich bei stark ausgeprägter Hörminderung dem Wert Null anzunähern (Hoth 1995 und 1996). Weiterhin ist jedem Anwender bekannt, dass diese Regel nicht immer quantitativ eingehalten wird, es liegen jedoch bisher keine Berichte über die Häufigkeit der Ausnahmen vor. Eines der Anliegen dieser Studie besteht darin, diese Regel unter zusätzlicher Berücksichtigung der Messqualität zu prüfen.

Die Regel „TEOAE sind genau dann nachweisbar, wenn im Frequenzbereich 1 bis 4 kHz mindestens eine Hörschwelle besser ist als 30 dB“ ist in der Gesamtheit aller Messungen in nur 78% der Fälle erfüllt. Wird die Auswertung auf die Fälle (Ohren) beschränkt, bei denen die Reststörung unter -1.5 dB SPL liegt, so ist die Regel in 87% der Fälle erfüllt. Die Gültigkeit erhöht sich auf 89%, wenn die Hörschwelle nicht bei mindestens einer Prüffrequenz im Bereich von 1 bis 4 kHz sondern bei drei oder mehr audiometrischen Frequenzen im Bereich von 0.5 bis 8 kHz besser ist als 30 dB. Dieses Kriterium ist zuverlässiger und robuster, d.h. es hängt weniger stark von der Qualität der Messung ab.

Für die DPOAE lautet die zu prüfende Regel: „Emissionen sind genau dann nachweisbar, wenn die Hörschwelle bei  $f_2$  besser ist als 50 dB“. Abhängig von der Frequenz des Primärtones  $f_2$  ist diese Regel in 56% (1 kHz), 81% (2 kHz) und 82% (4 kHz) der Gesamtheit aller Messungen erfüllt. Diese Zahlen erhöhen sich auf 78% (1 kHz), 91% (2 kHz) und 83% (4 kHz), wenn die Auswertung auf die Messungen beschränkt wird, bei denen die Reststörung unter -1.5 dB SPL liegt.

## Identifizierung der OAE anhand von numerischen Parametern

In der praktischen Anwendung gilt neben der visuellen Erkennung der TEOAE ihre Reproduzierbarkeit (oder das mit ihr gleichwertige Signal/Rausch-Verhältnis) als zuverlässiges Kriterium für den Signalnachweis. Die in Abbildung 1 gezeigten Verteilungen der Reproduzierbarkeit für OAE-positive und OAE-negative Messungen überlappen sich im Bereich um 45%.

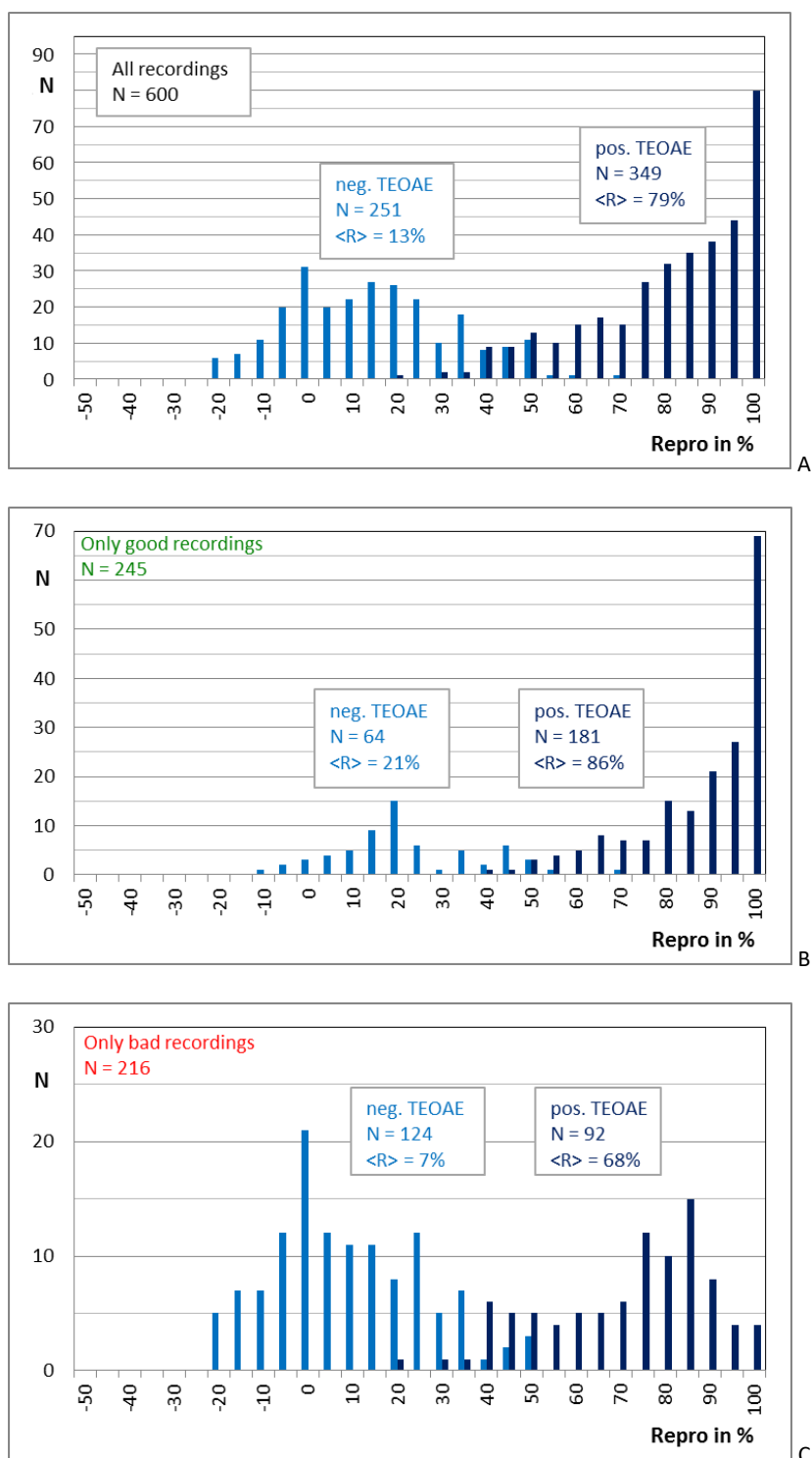


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilungen der Reproduzierbarkeit für alle TEOAE-Messungen (A) sowie für Messungen mit Reststörung unter -1.5 dB SPL (B) und über +1.5 dB SPL (C). Die Klassifizierung in „OAE-positiv“ und „OAE-negativ“ beruht auf der Beurteilung durch einen in Bezug auf die Reproduzierbarkeit verblindeten erfahrenen Untersucher.

Die Häufigkeitsverteilungen der Reproduzierbarkeit von OAE-positiven und OAE-negativen Messungen wurden separat für die Gesamtheit aller Messungen, für die Messungen mit überdurchschnittlich hoher Messqualität (Reststörung < -1,5 dB SPL) und für die Messungen mit überdurchschnittlich geringer Messqualität (Reststörung > 1,5 dB SPL) betrachtet. Erwartungsgemäß finden sich im Datensatz der Messungen mit kleiner Reststörung eine bessere Trennschärfe und ein größerer Anteil OAE-positiver Messungen.

Die in Bezug auf die Reproduzierbarkeit zu prüfenden Regel lautet: „TEOAE sind genau dann nachweisbar, wenn ihre Reproduzierbarkeit die Grenze von 60% überschreitet“ (wie an anderer Stelle gezeigt (Hoth und Polzer 2006), ist diese Grenze gleichwertig mit einem Signal/Rausch-Verhältnis von 6 dB). In der Gesamtheit aller Messungen ist diese Regel in 89% der Fälle erfüllt. Wird die Auswertung auf die Fälle (Ohren) beschränkt, bei denen die Reststörung unter -1.5 dB SPL liegt, so ist die Regel in 94% der Fälle erfüllt, bei einer Reststörung über 1.5 dB SPL in nur 85% der Fälle.

In 62 der 600 Fälle (10.3%) stimmen die visuelle Beurteilung und die Kategorisierung nach Maßgabe der Reproduzierbarkeit nicht überein. Im extremsten Fall beträgt die Reproduzierbarkeit einer OAE-positiven Messung nur 26.5%. In diesem und vielen anderen Fällen liegen die visuell eindeutig identifizierbaren TEOAE unterhalb der durch  $\text{Repro}=60\%$  beschriebenen Grenze, weil sich in der über den gesamten Zeitbereich berechneten Reproduzierbarkeit besonders bei starker Reststörung die auf einen Teil des Zeitfensters begrenzten reproduzierbaren Signalanteile nicht abbilden. Ein Beispiel hierzu ist in Abb. 2 gezeigt.

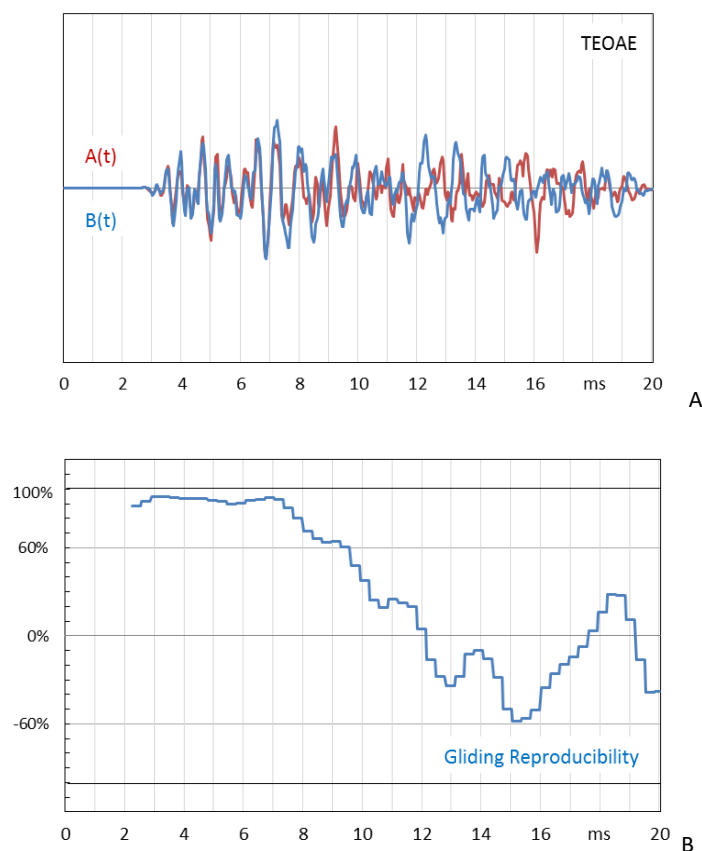


Abbildung 2: TEOAE mit einer integralen Reproduzierbarkeit von 48.2%. Die erkennbar reproduzierbaren Signalanteile (A) sind auf einen Teil des Zeitfensters begrenzt; mit Hilfe der zeitlich differentiellen Betrachtung der Reproduzierbarkeit (B) wird die hohe Reproduzierbarkeit während der ersten 7 ms sichtbar. Das zugehörige Audiogramm zeigt einen zeltförmigen Verlauf mit annähernd normaler Hörschwelle im Bereich um 2 kHz.

Die Beurteilung von Messungen dieser Art kann durch eine zeitlich differentielle Betrachtung der Reproduzierbarkeit („gliding reproducibility“) erleichtert werden. Bei diesem hier erstmals beschriebenen Algorithmus wird die Reproduzierbarkeit innerhalb eines kleinen Zeitfensters (1.24 ms bzw. 32 Abtastwerte) berechnet, das Zeitfenster sukzessive um 0.32 ms (8 Abtastwerte) verschoben und die Reproduzierbarkeit über alle überlappenden Zeitfenster gemittelt. Analog zu einer früher beschriebenen Variante des Verfahrens (Hoth 1991) wird das Ergebnis der Rechnung auch hier graphisch angezeigt, jedoch nicht in Graustufen sondern

quantitativ. Im abgebildeten Beispiel kann die hohe Reproduzierbarkeit im ersten Teil des Zeitfensters unmittelbar abgelesen werden.

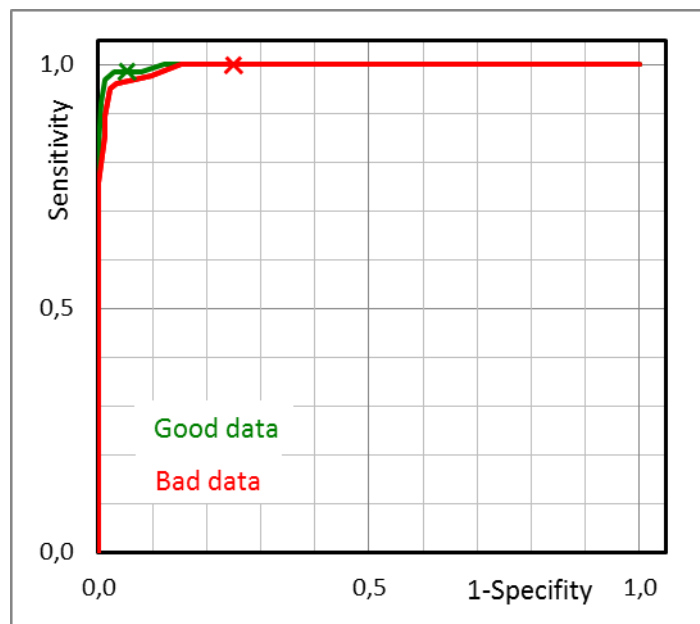
## Diskussion

Die in Bezug auf den Nachweis und die audiologische Interpretation von OAE etablierten Regeln erweisen sich in der hier untersuchten Stichprobe (N=600 Ohren) als gültig, wenngleich z.T. mit niedriger Trefferrate. Erwartungsgemäß besteht eine positive Korrelation zwischen der Trefferrate und der Messqualität (welche ihrerseits durch die Reststörung gegeben ist). Bei Beachtung eines für die Praxis sinnvollen und erreichbaren Qualitätskriteriums ergeben sich die in Tab. 1 angegebenen Regeln.

*Tabelle 1: Regeln für die Zusammenhänge zwischen Nachweisbarkeit der OAE, Reproduzierbarkeit der TEOAE und Hörverlust für den Fall, dass die Reststörung weniger als -1.5 dB SPL beträgt.*

TEOAE sind genau dann nachweisbar*, wenn ihre Reproduzierbarkeit die Grenze von 60% überschreitet.			
Gültigkeit:	94%		
TEOAE sind genau dann nachweisbar*, wenn im Frequenzbereich 1 bis 4 kHz mindestens ein Hörschwellenwert die Grenze von 30 dB unterschreitet.			
Gültigkeit:	87%		
TEOAE sind genau dann nachweisbar*, wenn im Frequenzbereich 0.5 bis 8 kHz mindestens drei Hörschwellenwerte die Grenze von 30 dB unterschreiten.			
Gültigkeit:	89%		
DPOAE sind genau dann nachweisbar*, wenn die Hörschwelle bei $f_2$ die Grenze von 50 dB unterschreitet.			
Frequenz $f_2$ :	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Gültigkeit:	78%	91%	83%
* von einem erfahrenen Untersucher visuell identifiziert (Gold-Standard)			

Für die TEOAE wurde die Leistungsfähigkeit in Bezug auf die sichere Erkennung einer pathologischen Veränderung (bzw. ihren sicheren Ausschluss) nach dem Konzept der Receiver Operating Characteristic (ROC) näher betrachtet (Abb. 3). Wird das Grenzkriterium für die Reproduzierbarkeit niedrig angesetzt, so werden viele Messergebnisse diese Grenze überschreiten und die Messung somit in vielen Fällen fälschlicherweise ein unauffälliges Ergebnis anzeigen (geringe Spezifität). Mit steigendem Grenzkriterium werden in zunehmendem Maße falsch auffällige Ergebnisse generiert (geringe Sensitivität). Die ROC-Kurve zeigt an, dass entweder Sensitivität oder Spezifität – aber niemals beide – 100% betragen können. Methoden mit einer guten Trennung zwischen normal und pathologisch sind an einer ROC zu erkennen, die sich eng in die linke obere Ecke des Diagramms schmiegt.



*Abbildung 3: Receiver Operating Characteristic (ROC) der TEOAE in Bezug auf den Parameter Reproduzierbarkeit – getrennt dargestellt für die Menge der Messungen mit Reststörung unter -1.5 dB SPL ("Good data" grün) und über +1.5 dB SPL ("Bad data" rot). Die zwei eingezeichneten Kreuze geben die Verhältnisse für  $Repro = 60\%$  wieder.*

Diese Eigenschaft der ROC bildet sich im Integral der Kurve ab (Area Under the Curve = AUC). Für die zwei getrennt betrachteten Gruppen beträgt es 99.7% (Reststörung < -1.5 dB SPL) bzw. 99.2% (Reststörung > +1.5 dB SPL). Der zunächst klein erscheinende Unterschied in Kurvenverlauf und Parametern geht aber damit einher, dass das Kriterium „Repro = 60%“ nicht für beide Gruppen geeignet ist. In der Gruppe mit niedriger Messqualität (Reststörung > +1.5 dB SPL) erreichen nur Messungen mit besonders deutlich ausgeprägten OAE 60%, eine Messung mit kleinerer OAE-Amplitude verfehlt das Kriterium. Infolgedessen beträgt die Sensitivität in dieser Gruppe 100%, bei einer nicht akzeptablen Spezifität von 75%. In der Gruppe mit hoher Messqualität (Reststörung < -1.5 dB SPL) beträgt die Sensitivität 98.4% und die Spezifität 95.0% für dasselbe Kriterium. Zur Berücksichtigung und Korrektur dieses Effektes müsste das Grenzkriterium in Abhängigkeit von der Messqualität spezifisch angepasst werden. Da dies nicht praktikabel ist, lautet das Fazit für die Praxis, auf eine ausreichend niedrige Reststörung achten. Die in der vorliegenden Datensichtung bei -1.5 dB SPL angesetzte Grenze war bei etwa der Hälfte der Messungen unterschritten. Für einen großen Teil der oberhalb dieser Grenze liegenden Untersuchungen kann dies durch Erhöhung der Mittelungszahl erreicht werden.

## Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Ergebnisse machen deutlich, dass bei einer Nutzung der OAE ohne Beachtung der Reststörung das Potential der Methode nicht ausgeschöpft wird.

Für die Praxis wird empfohlen, die im Zeitfenster 1 bis 20 ms berechnete Reststörung durch geeignete Wahl der Messparameter unter -1.5 dB SPL zu halten.

Unter dieser Bedingung gilt: Wenn TEOAE nachweisbar sind, dann liegt die Hörschwelle bei drei oder mehr audiometrischen Prüffrequenzen im Bereich von 0.5 bis 8 kHz besser als 30 dB; wenn DPOAE nachweisbar sind, dann beträgt der Hörverlust bei der Frequenz  $f_2$  weniger als 50 dB.

Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so sind die genannten Regeln weniger zuverlässig und viele offenkundig OAE-positive Messungen erreichen nicht die erwartete Reproduzierbarkeit von 60%.

TEOAE, die auf einen Teil des Zeitfensters beschränkt sind, können mit Hilfe der „Gliding Reproducibility“ differenzierter betrachtet und nutzbar gemacht werden.

## Literatur

Hoth S (1991) Zeitlich differentielle Analyse des Korrelationskoeffizienten: Eine Bereicherung bei der Auswertung von akustisch evozierten Potentialen. *Audiol Akustik* 30: 214-220

Hoth S (1995) Zusammenhang zwischen EOAE-Parametern und Hörverlust. *Audiol Akust* 34: 20-29

Hoth S (1996) Der Einfluß von Innenohrstörungen auf verzögerte otoakustische Emissionen (TEOAE) und Distorsionsprodukte (DPOAE). *Laryngol Rhinol Otol* 75: 709-718

Hoth S, Polzer M (2006) Qualität in Zahlen: Signalnachweis in der objektiven Audiometrie. *Z Audiol* 45: 100-110