

ÜBERGANG VON TRANSIENT ZU STATIONÄR EVOZIERTEN OTOAKUSTISCHEN EMISSIONEN

Michael Bartsch*, Manfred Mauermann[†] und Birger Kollmeier

AG Medizinische Physik, Carl von Ossietzky Universität, D-26111 Oldenburg

*E-mail: bartsch@medi.physik.uni-oldenburg.de

[†]E-mail: mani@medi.physik.uni-oldenburg.de

Einleitung

Aus psychoakustischen Experimenten zur Nachverdeckung und aus Experimenten zur Testtonintegration ergibt sich eine Zeitkonstante von ca. 200 ms, die als untere Grenze für im psychoakustischen Sinne stationäre Signale angesehen werden kann (Zwicker und Fastl, 1990).

Bei der Messung von otoakustischen Emissionen wird je nach Dauer des Stimulus zwischen transient-evozierten (TEOAE) und Stimulusfrequenz otoakustischen Emissionen (SFOAE) unterschieden.

Während SFOAE den Zustand der Cochlea in einem quasi-

stationären Zustand widerspiegeln, werden TEOAE als eine Art Impulsantwort des Innenohres aufgefaßt.

Inwiefern die cochleäre Verarbeitung unterschiedlich langer Stimuli sich in einer Änderung der Eigenschaften im Übergang von TEOAE zu SFOAE widerspiegelt, d.h. ab welcher Zeitdauer der Stimuli otoakustische Emissionen als stationär betrachtet werden können, ist bisher nicht genau geklärt.

Im Vordergrund dieser Untersuchung steht deshalb die Frage, ob sich eine Zeitkonstante finden läßt, die einen möglichen Übergang von TEOAE zu SFOAE kennzeichnet und inwieweit diese OAE-Zeitkonstante mit psychoakustischen Zeitkonstanten vergleichbar ist.

Methoden

Für die OAE-Messungen wurde ein von Keefe (1998) beschriebenes Messparadigma benutzt, das die Trennung von Stimulus und nichtlinearer Antwort für TEOAE und SFOAE gleichermaßen ermöglicht.

Es wurden Phasenverläufe und Einhüllende des Residuums in Hinblick auf die Dauer möglicher Einschwingvorgänge untersucht. Hierzu wurden mit Hilfe eines Least-Square-Fit-Verfahrens (Long et al., 1997) Amplitude und Phase eines Sinussignals mit der dem Stimulus entsprechenden Frequenz an 1 ms lange, sich überlappende Ausschnitte über das gesamte Residuumsignal angefitet.

In gleicher Weise wurde der Einfluss der Flankenlängen der verwendeten Stimuli auf den Verlauf von Einhüllender und Phase der evozierten OAE betrachtet.

Schliesslich wurde untersucht, ob die relativ zur Stimulusenergie emittierte Energie mit der Stimuluslänge variiert. Dazu wurde das normierte Verhältnis der Summe der Amplitudenquadrate der OAE (korrigiert um eine Abschätzung der Rauschenergie) zur Summe der Amplitudenquadrate des jeweiligen Stimulus ermittelt. Dieses Verhältnis wird als Maß für den Energiegehalt der gesamten gemessenen Antwort im Verhältnis zur Energie des Stimulus interpretiert.

Um das bei TEOAE auftretende ‚Nachschwingen‘, das bei den eben beschriebenen Energiebetrachtungen Beiträge lieferte - und dessen relativer Beitrag für längere Stimuli abnimmt - von der Analyse auszunehmen, wurde außerdem untersucht, inwieweit die Energie eines ‚Kernbereichs‘ der OAE-Antwort durch die Stimuluslänge beeinflusst ist. Als Kernbereich wurde der Bereich der Emission definiert, der für die Dauer des Stimulusplateaus den jeweils größten RMS-Wert innerhalb des Gesamtsignals aufwies. Dieser Bereich war bis auf geringe Abweichungen identisch mit dem Bereich der Emission, der sich aus der Berechnung des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion zwischen Stimulusplateau und Residuumsignal ergab. Der relative RMS-Wert des Emissionskernbereichs ist ebenfalls in Abb. 2 als Funktion der Stimuluslänge aufgetragen (dicke Linien).

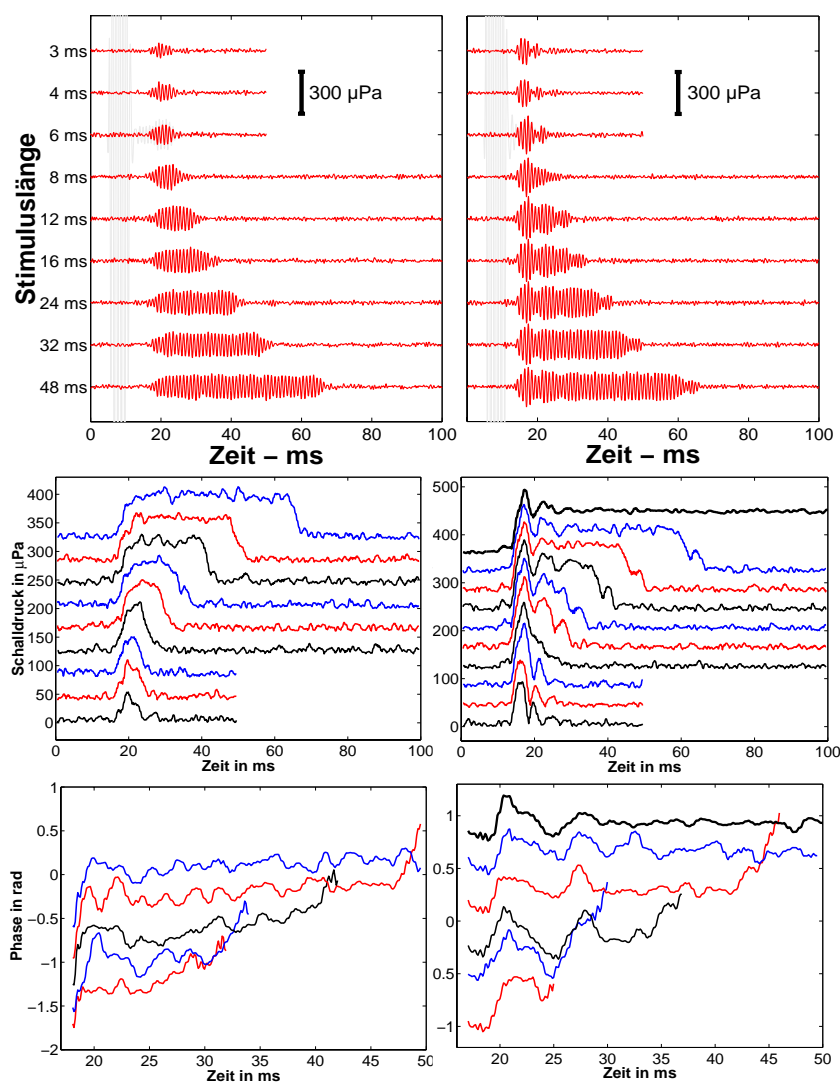


Abb. 1:

Nichtlineare TEOAE/SFOAE der Versuchspersonen ow (links) und kk (rechts)

Oben: Residuumsignale der Messungen mit 1000 Hz für die Stimulusdauern 3 - 48 ms. Als Referenz wurde neben den Messdaten zusätzlich der Stimulus mit Länge 6 ms eingezeichnet.

Mitte: Einhüllende der obigen Zeitsignale. Von unten nach oben (Verschiebung jeweils 40 µPa): 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32 und 48 ms. Für VP kk (rechts) wurde zusätzlich oben die Einhüllende einer 1536-fach gemittelten Messung mit einer Dauer von 128 ms eingezeichnet.

Unten: Phase der obigen Zeitsignale in Bezug zur der des Stimulus. Von unten nach oben (Verschiebung jeweils 0,35 rad): 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32 und 48 ms. Der Übersicht halber wurde der jeweilige Ausschnitt auf den Bereich zwischen Einschwingen und kurz nach dem Ausschwingen begrenzt.

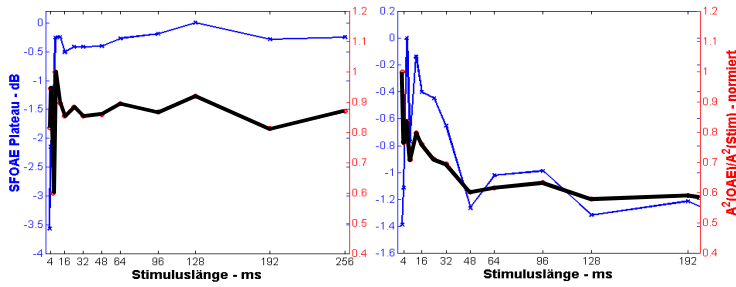


Abb. 2: Verhältnisse von OAE Energie zur Energie des Stimulus
 links: VP ow, linkes Ohr; rechts: VP kk, linkes Ohr
 dicke Linien: Normiertes Verhältnis der Summe der Amplitudenquadrate des gesamten Residuumsignals (korrigiert um eine Abschätzung der Rauschenergie) zur Summe der Amplitudenquadrate des Stimulus, aufgetragen als Funktion der Stimuluslängen (3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 und 256 ms).
 dünne Linien: Maximale RMS-Werte der Residuumsignale berechnet für Intervalllängen, die der Plateaulänge des jeweils verwendeten Stimulus entsprechen.

Versuchspersonen (VP)

Fünf normalhörende Versuchspersonen im Alter zwischen 20 und 35 Jahren, davon eine weiblich und vier männlich.

Versuchsaufbau

Die Darbietung der Stimuli erfolgte nach DA-Wandlung (*RME Adi 8 Pro*; 24 bit, 44100 Hz) über die Lautsprecher einer *ER10C* (*Etymotic Research*) Sonde zur Messung otoakustischer Emissionen. Als Stimuli wurden Sinuspulse mit unterschiedlicher Dauer (3 bis 256 ms einschl. 1 ms Hanning Flanken) verwendet. Die Aufnahme der Signale im Gehörgang wurde ebenfalls mit der *ER10C*-Sonde bewerkstelligt. Das Mikrofonsignal wurde mit einem rauscharmen Messverstärker (*Stanford Research SR 560*) vorverstärkt und hochpass-gefiltert (300 Hz, 12 dB/Oktave), und nach der AD-Wandlung (*RME Adi 8 Pro*) auf Festplatte gespeichert. Die Auswertung erfolgte offline mit *Matlab 5.3* (Bandpass-FIR-Filterung, Artefaktunterdrückung durch 4fach-iteriertes gewichtetes Mittel der Residuumsignale; Hoke (1984)).

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt das Verhältnis der in SFOAE und Stimulus enthaltenen Energie. Dargestellt sind das Verhältnis von emittierter Gesamtenergie zur Stimulusenergie (dicke Linien) sowie das Verhältnis der Energie des ‚Kernbereichs‘ der Emission zur Energie des dargebotenen Signals (dünne Linien).

Bezüglich des ‚Kernbereichs‘ ist bei den meisten Versuchspersonen ein steiler Anstieg der im Verhältnis zum Stimulus emittierten OAE Energie bis zu Stimuluslängen von 8 ms zu beobachten. Offensichtlich ist diese Zeitspanne nötig, damit sich die Emission vollständig aufbauen können. Für größere Stimuluslängen bis 48 ms, bei denen sich Stimulus und Antwort zunehmend ineinander schieben, sind starke Variationen der Energieverhältnisse beobachtbar. Ab einer Stimulusdauer von 48 ms (bei VP ow ab 32 ms) wird bei allen VPs ein relativ konstantes Niveau erreicht. Diese Aussagen gelten auch für die Betrachtung des Verhältnisses der Gesamtenergien von Antwort und Stimulus. Für kurze Stimulusdauern (< 16 ms) zeigt diese Form der Betrachtung jedoch keinen klaren Trend.

In Abb. 1 oben ist der zeitliche Verlauf der SFOAE zweier Versuchspersonen dargestellt (links ow, rechts kk). In den Abbildungen darunter sieht man die zugehörigen Einhüllenden und Phasenverläufe.

Außer bei ow war bei allen Versuchspersonen ein ca. 20 ms langer Einschwingvorgang (inklusive Latenz zwischen Stimulations- und OAE-Beginn) nach Einsetzen des Stimulus sowohl in

der Einhüllenden als auch im Phasenverlauf zu beobachten. Das Einsetzen der OAE war von einem deutlichen Überschwingen gekennzeichnet, dessen Amplitude von der Dauer der Anstiegsflanke des Stimulus abhängt (s.u.). Die TEOAE wiesen im Zeitbereich bis auf ow bei allen VPs nach einem ersten Antwortpuls noch weitere, verzögerte Pulse mit kleinerer Amplitude auf, die vermutlich auf Reflexionen am ovalen Fenster zurückzuführen sind. Bemerkenswert ist dabei, dass die Maxima und Minima im Nachschwingen der sehr kurzen Stimuli (3 bzw. 4 ms) mit nur geringer Verschiebung auch als Maxima bzw. Minima im Einschwingvorgang für wesentlich längere Stimulusdauern zu beobachten sind.

Auch der Einfluss der Flankenlänge (bisher: 1 ms) auf den Einschwingvorgang wurde untersucht (ohne Abb.). Es zeigte sich, dass sich die Ausprägung des Einschwingverhaltens in den ersten Millisekunden nach Einsetzen der OAE mit größer werdender Flankenlänge deutlich reduziert. Wie die Phasenverläufe belegen, verringert sich die **Dauer** des Einschwingvorgangs jedoch nicht.

Die Betrachtungen der Amplituden- und Phasenverläufe zeigen, dass man für Stimuli mit einer Dauer von mehr als 32 ms etwa 20 ms nach Stimulusbeginn von einem eingeschwingenen Zustand ausgehen kann. Der Verlauf der Energieverhältnisse legt darüberhinaus nahe, dass die beobachteten Einschwingvorgänge bei Betrachtung der Gesamtemission für Stimuli ab 48 ms Dauer vernachlässigbar sind. Als Konsequenz daraus sollte zur Messung von SFOAE eine Stimulusdauer von 48 ms auf keinen Fall unterschritten werden.

Es ist zu vermuten, dass sich die teilweise deutlich zu beobachtenden interindividuellen Unterschiede bei den Messdaten dadurch erklären lassen, dass sich die gemessene Frequenz von 1 kHz bei einigen Versuchspersonen im Bereich eines Maximums in der OAE-Feinstruktur befand, während sie bei anderen eher in der Nähe eines Minimums lag. Dies zu überprüfen, wird das Ziel weiterer Messungen sein.

Schlussfolgerungen

- Die Betrachtung der Zeit- und Phasenverläufe der OAE-Messungen zeigt, dass sich die cochleäre Antwort nach etwa 20 ms nicht mehr wesentlich verändert
- Nach ca. 48 ms spielen Einschwingvorgänge für die Betrachtung der gesamten Emissionen keine bedeutende Rolle. Dies ist insbesondere für SFOAE-Messungen in der Praxis eine wichtige Aussage.
- Dieser Wert liegt deutlich unter dem in der Psychoakustik angenommenen Wert für stationäre Stimulationen (200 ms). Offensichtlich spielen bei Einschwingvorgängen in der Psychoakustik neben der cochleären Vorverarbeitung auch noch weitere, höher liegende Verarbeitungsstufen eine Rolle.

Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt die Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG Ko 942/11-2.

Literatur

- Keefe, D. H. (1998), „Double-evoked otoacoustic emissions. I., Measurement theory and nonlinear coherence“, *J Acoust Soc Am* **103** (6), S. 3489-3498.
- Zwicker, E. und H. Fastl (1990), „Psychoacoustics“, Springer, Berlin
- Long, G. und C. Talmadge (1997), „Spontaneous otoacoustic emission frequency is modulated by heartbeat“, *J Acoust Soc Am* **102** S. 2831-2848
- Hoke et al. (1984), „Weighted averaging - theory and application to electric response audiometry“, *ecn*, Vol. 57, S. 484-489