

FREQUENZSPEZIFISCHE MESSUNG FRÜHER AKUSTISCH EVOZIRTER POTENTIALE (FAEP) MIT OPTIMISIERTEN CHIRP-SIGNALEN

Oliver Wegner*, Torsten Dau[†]*, Birger Kollmeier*

*AG Medizinische Physik, Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg

[†]Hearing Research Center, Boston University

E-Mail: ow@medi.physik.uni-oldenburg.de

Einleitung

Eine Vielzahl von direkten und indirekten Methoden wurden in der Vergangenheit verwendet, um mit Hilfe von FAEP Informationen über das frequenzspezifische Hörvermögen zu bekommen. Es wurden dabei sowohl verschiedene Stimulus-Paradigmen als auch verschiedene Signalverarbeitungs-Techniken verwendet. Durchgesetzt haben sich hier u.a. schmalbandig gefilterte Clicks und Tonpulse bei direkter Stimulation ohne zusätzlichen Maskierer, sowie Click-evozierte FAEP mit zusätzlicher Maskierung. Trotz dieser Techniken stellen die Kochlea-Mechanik und die Zeit-Frequenz-Unschärfe des Stimulus einen limitierenden Faktor da, wenn frequenzspezifische Informationen unterhalb von 2 kHz mit Hilfe der ABR gemessen werden sollen. Dau et al. (2000) haben einen Chirp-Stimulus entwickelt, der theoretisch die gesamte Basilarmembran (BM) gleichzeitig anregt, indem er die Laufzeitunterschiede auf der BM ausgleicht. Es wurde gezeigt, daß die Amplitude der Welle V der chirp-evozierten FAEP signifikant höher ist als bei entsprechenden click-evozierten FAEP. In den folgenden Experimenten wird untersucht, inwieweit sich der optimierte Chirp eignet, frequenzspezifische Informationen über das Hörvermögen mit Hilfe der FAEP zu bekommen.

Methoden

Die Messungen wurden mit einem PC-basierten Computersystem durchgeführt, welches sowohl die Stimulus-Darbietung als auch die Aufnahme der evozierten Potentiale steuerte. Eine DSP-Karte (Ariel DSP32C) wandelte den digital generierten Stimulus (25 kHz, 16 Bit) in einen analogen Spannungsverlauf um. Das Maskierungsrauschen wurde generiert, indem breitbandiges weißes Rauschen eines Rauschgenerators (TDT WG2) durch zwei in Reihe geschaltete Filter (TDT PF1, Butterworth IIR 10. Ordnung, 16 Bit) gefiltert wurde. Das Ausgangssignal des zweiten Filters wurde abgeschwächt (TDT PA4) und anschließend mit dem Stimulus addiert (TDT SM3). Der Ausgang des Addierers wurde an einen digital gesteuerten Audiometrieverstärker angeschlossen, durch welchen das Signal über einen Einsteckhörer (Etymotic Research ER-2) der Versuchsperson monaural dargeboten wurde. Die FAEP wurden mit Ag-AgCl-Elektroden zwischen Vertex (positiv) und ipsilateralem Mastoid (negativ) abgeleitet. Die Referenzelektrode wurde auf der Stirn plziert. Die Impedanz zwischen den Elektroden betrug immer weniger als 5 k Ω . Die abgeleiteten Potentiale wurden von einem BERA-Vorverstärker (Firma Hortmann) verstärkt (80 dB) und gefiltert (95 – 1640 Hz, 6 dB/Oct.).

Experiment 1

In diesem Experiment werden FAEP nach Anregung mit zwei tieffrequenten Stimuli verglichen. Dazu wurde zum einen ein optimierter Chirp (100 Hz - 460 Hz) und zum anderen ein tieffrequenter Tonpuls (250 Hz, 6 ms) verwendet. Um sicherzustellen, daß nur tieffrequente Bereiche des auditorischen Systems zu den FAEP beitragen, wurde das Experiment mit einem zusätzlichen Hochpaß-Maskierer wiederholt ($f_c = 1$ kHz).

In Abb. 1 sind die über 6 Versuchspersonen (Vp) gemittelten Amplituden der Welle V für die verschiedenen Stimulationsbedingungen dargestellt. Bei Stimulation ohne Maskierer ist in fast allen Fällen eine signifikant höhere Amplitude bei Anregung mit dem Chirp zu beobachten. Auch bei Stimulation mit gleichzeitiger Darbietung des Maskierers bleibt insbesondere bei den niedrigen Pegeln der Vorteil des Chirps erhalten. Der Chirp ist also gerade im tieffrequenten Bereich effektiver als ein vergleichbarer Tonpuls.

In Abb. 2 sind die über 6 Vp gemittelten Latenzen der Welle V in Abhängigkeit vom Stimulationspegel dargestellt. Zusätzlich zu den Pegel-Latenz-Kurven für den Chirp und den Tonpuls ist der Latenzunterschied der Welle V zwischen diesen beiden Stimuli eingezeichnet. Der Latenzunterschied ist unabhängig vom Pegel und beträgt im Mittel 5.2 ms. Diese Differenz läßt sich durch den Laufzeitunterschied zwischen 100 Hz und 250 Hz erklären. Dieser beträgt im linearen Basilar-

membran-Modell von der Boer (1980) 4.1 ms. Die verbleibenden 1.1 ms liegen vermutlich im Unterschied zwischen dem Modell und dem realen Innenohr begründet.

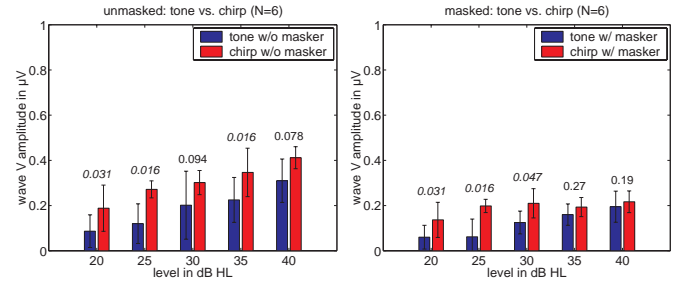


Abb. 1: Über 6 Vp gemittelte Amplituden der Welle V. Stimulation Tonpuls bzw. tieffrequenter Chirp, jeweils ohne Maskierer (links) bzw. mit Hochpaß-Maskierer (rechts). Die Fehlerbalken entsprechen der einfachen Standardabweichung. Die Zahlen über den Balken geben das Signifikanzniveau an (Willcoxon-Test, N=6, $\alpha=0.05$).

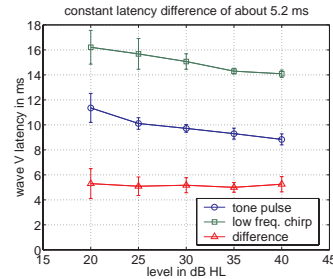


Abb. 2: Über 6 Vp gemittelte Latenzen der Welle V und deren Standardabweichung in Abhängigkeit vom Stimulus-Pegel. Stimulation: Tonpuls bzw. tieffrequenter Chirp. Die unterste Kurve stellt den Latenzunterschied zwischen Tonpuls- und Chirp-Stimulation dar.

Ergebnisse von Experiment 1

Ein tieffrequenter Chirp, der die Laufzeitunterschiede auf der Basilarmembran ausgleicht, ist effektiver als ein Tonpuls mit vergleichbarer Dauer und vergleichbarem Spektralgehalt.

Experiment 2

In diesem Experiment wird untersucht, ob sich der breitbandige Chirp eignet, frequenzspezifische Informationen über die Hörbahn zu bekommen. Dazu wurde das Betragsspektrum des Chirps an das des Clicks angepaßt. Es wurden zwei verschiedene Maskierungsarten verwendet:

- Derived Responses (Don & Eggermont 1978) über Hochpaß-Maskierung (Grenzfrequenzen: 0.5, 1, 2, 4 und 8 kHz)
- Maskierung mit Bandlückenrauschen (Notch-Noise Maskierer). Für die Lücken wurden folgende Frequenzbereiche verwendet: 0.5-1, 1-2, 2-4, 4-8 kHz (Thümmler & Tietze, 1984).

Zusätzlich wurden noch die Amplitudenunterschiede der Welle V zwischen den verschiedenen Einstellungen des Hochpaß-Maskierers berechnet. Die Stimuli wurden mit einem Pegel von 40 dB HL dargeboten. Der Pegel des Rausch-Maskierers wurde so eingestellt, daß mit dem ungefilterten weißen Rauschen keine FAEP zu sehen waren.

In Abb. 3 sind die FAEP nach Click-Stimulation bzw. Chirp-Stimulation bei gleichzeitig dargebotenem Hochpaß-Maskierer variabler Grenzfrequenz dargestellt. Auch in diesem Fall führt die Stimulation mit dem Chirp zu höheren Amplituden der Welle V als die Click-Stimulation. Diese Unterschiede sind bei fast allen Grenzfrequenzen des Hochpaß-Maskierers signifikant, wie in Abb. 4 (linke Seite) zu sehen ist. Auf der rechten Seite von Abb. 4 sind die mittleren Amplitudendifferenzen für die verschiedenen Stimulusbedingungen dargestellt. Dazu wurden die Amplituden für zwei verschiedene Hochpaß-Maskierer-Konditionen bestimmt und deren Differenz berechnet. Diese Differenz ist ein Maß dafür, wieviel die verschiedenen Frequenzberei-

che zur Amplitude der Welle V (bei Anregung ohne Maskierung) beitragen. Im Gegensatz zum Click führt der Chirp annähernd zu einer über alle Frequenzen gleichmäßig verteilten Antwort.

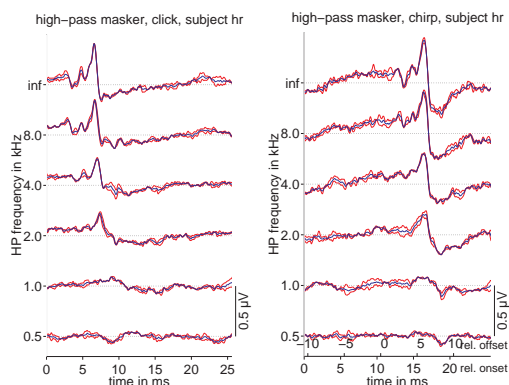


Abb. 3: Vergleich zwischen Click-Stimulation (links) und Chirp-Stimulation (rechts) bei gleichzeitig dargebotenem Hochpaß-Maskierer mit verschiedenen Grenzfrequenzen. Die Chirp-evozierten FAEP weisen eine höhere Amplitude der Welle V auf als die Click-evozierten FAEP. Stimulus-Pegel: 40 dB HL.

In Abb. 5 und Abb. 6 sind frequenzspezifisch abgeleitete FAEP dargestellt. In Abb. 5 wurde die Methode der Derived Response verwendet, die durch Subtraktion der entsprechenden hochpaß-maskierten FAEP (s. Abb. 3) berechnet wurden. In Abb. 6 wurde die FAEP bei gleichzeitiger Darbietung von Bandlücken-Rauschen (Notched Noise) abgeleitet. In beiden Abbildungen sind keine größeren Unterschiede zwischen Chirp- und Click-Stimulation zu beobachten. Ein Wilcoxon-Test ($N=7$, $\alpha=0.05$) führt auch zu keinen signifikanten Unterschieden.

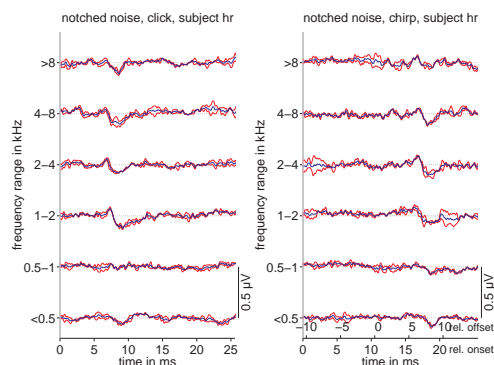


Abb. 6: FAEP bei gleichzeitiger Darbietung von Bandlücken-Rauschen (Notched Noise). Um die Ergebnisse mit den Derived Responses (s. Abb. 5) zu vergleichen, wurde eine Bandlückenbreite (Notch-Breite) von einer Oktave gewählt. Als Stimuli wurde ein Click (linke Spalte) bzw. ein Chirp (rechte Spalte) verwendet. Es sind keine signifikanten Unterschiede der Amplitude der Welle V zwischen Click- und Chirp-Stimulation zu beobachten (Wilcoxon-Test, $N=7$, $\alpha=0.05$).

Ergebnisse von Experiment 2

Bei Verwendung eines Hochpaßmaskierers haben Chirp-evozierte FAEP fast immer eine signifikant größere Amplitude der Welle V als Click-evozierte FAEP. Bei Stimulation mit dem Chirp tragen alle Frequenzbereiche annähernd gleich zur Amplitude der Welle V der FAEP bei. Werden nur Frequenzbereiche mit einer Bandbreite von einer Oktave untersucht, dann gibt es keine signifikanten Vorteile für die Chirp-Stimulation gegenüber der Click-Stimulation.

Zusammenfassung

- Der gesamte Frequenzbereich trägt zur erhöhten Synchronizität bei, die bei Stimulation mit dem Chirp beobachtet wird.
- In diesem Fall tragen alle Frequenzbereiche fast gleich stark zur Amplitude der Welle V bei.
- Es wurde gezeigt, daß ein tieffrequenter Chirp effektiver ist als ein vergleichbarer Tonpuls.
- Der breitbandige Chirp-Stimulus ist mindestens genauso effektiv wie der Click, wenn mit Hilfe der FAEP frequenzspezifische Informationen erlangt werden sollen.
- Der Chirp-Stimulus ist in Kombination mit einem Hochpaß-Maskierer sehr gut geeignet, um Informationen über das Hörvermögen – insbesondere im tieffrequenten Bereich – zu bekommen.

Literatur

- de Boer, E. (1980). "Auditory physics. Physical principles in hearing theory I." *Phys Rep* **62**: 87-274.
- Dau, T., O. Wegner, V. Mellert, and B. Kollmeier (2000). "Auditory brainstem response (ABR) with optimized chirp signals compensating basilar-membrane dispersion." *J. Acoust. Soc. Am.* **107**(3), 1530-1540.
- Don, M., J.J. Eggermont (1978). "Analysis of the click-evoked brain stem potentials in man using high-pass noise masking." *J. Acoust. Soc. Am.* **63**(4), 1084-1092.
- Thümmler, I., G. Tietze (1984). "Derived acoustically evoked brainstem responses by means of narrow-band and notched-noise masking in normal-hearing subjects." *Scand. Audiol.* **13**(2), 129-137.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „Neurokognition“ (SFB 517) durchgeführt.

Ein Matlab-Skript zum Generieren des optimierten Chirps kann aus dem Internet heruntergeladen werden:

<http://medi.physik.uni-oldenburg.de/members/ow/bmchirp>

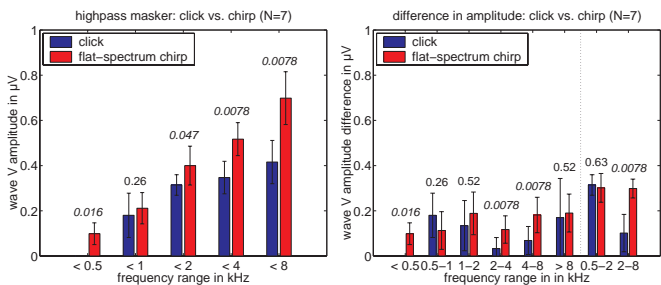


Abb. 4: Links: Vergleich Amplitude der Welle V für Click- und Chirp-Stimulation bei gleichzeitiger Darbietung eines Hochpaß-Maskierers (s. Abb. 3). Rechts: Amplitudendifferenzen. Es wurden die Amplituden für zwei verschiedene Hochpaß-Maskierer-Konditionen bestimmt und deren Differenz berechnet. Diese Differenz ist ein Maß dafür, wieviel die verschiedenen Frequenzbereiche zur Amplitude der Welle V (bei Anregung ohne Maskierung) beitragen. Alle Daten sind das Mittel über 7 Vp. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung wieder. Die Zahlen über den Balken geben das Signifikanzniveau an (Wilcoxon-Test, $N=7$, $\alpha=0.05$).

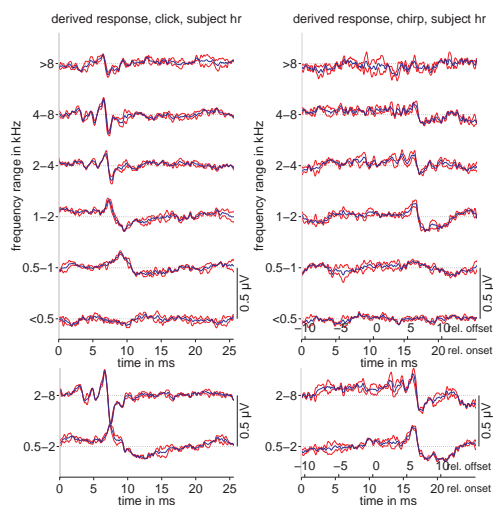


Abb. 5: Schmalbandige FAEP (Derived Response), die durch Subtraktion der entsprechenden hochpaß-maskierten FAEP (s. Abb. 3) berechnet wurden. Auf den oberen Achsen sind Bandbreiten von einer Oktave und auf den unteren Achsen von zwei Oktaven dargestellt. Linke Seite: Click-evozierte Derived Response. Rechte Seite: Chirp-evozierte Derived Response. Es gibt keine signifikanten Unterschiede der Amplitude der Welle V zwischen Click- und Chirp-Stimulation (Wilcoxon-Test, $N=7$, $\alpha=0.05$).