



DEPARTMENT OF
**BIOLOGICAL PSYCHOLOGY
AND NEUROERGONOMICS**



Berlin, 15.06.2015

Exposé zur Masterarbeit:

Untersuchung elektrokortikaler Aktivität bei Darbietung von Ultraschall

Vorgelegt von

Stephan Weisskircher

Donaustr. 130, 12043 Berlin

017620470072

st.weisskircher@gmail.com

1. Betreuer: Prof. Dr. phil. Klaus Gramann; Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaften, Fachgebiet Biopsychologie und Neuroergonomie

2. Betreuer: Dr. rer. nat. Alexander Lindau; Institut für Sprache und Kommunikation, Fachgebiet Audiokommunikation

Zusammenfassung

Das menschliche Wahrnehmungsvermögen für akustische Signale ist auf einen von ca. 20 Hz - 20kHz reichenden Frequenzbereich beschränkt. Frequenzen oberhalb dieses Bereichs bezeichnet man im Allgemeinen als Ultraschall. Sowohl in wissenschaftlichen Untersuchungen [1] als auch in populärwissenschaftlichen Berichten [2], [3] findet man immer wieder Hinweise darauf, dass die Darbietung von Ultraschall zu messbaren Änderungen der Hirnaktivität führen sollen.

Im Rahmen dieser Arbeit soll eine einschlägige und prominent publizierte Studie ([1]) zur Bestimmung des Einflusses von Ultraschall auf kortikale Aktivität kritisch repliziert und durch Anpassung sowohl der beobachteten abhängigen als auch der variierten unabhängigen Variablen verbessert werden. Die primäre Motivation der Untersuchung ist das Belegen eines eindeutigen Zusammenhangs von Ultraschallexposition und Hirnaktivität als Grundlage neuer Methoden einer non-invasiven Aufmerksamkeitsmessung.

Stand der Forschung

Als Ultraschall bezeichnet man im Allgemeinen Luftschall in Frequenzbereichen oberhalb des vom Menschen wahrnehmbaren Bereichs (d.h. $f > 20.000$ Hz) [4]. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Ultraschall über Knochenleitung, vorzugsweise induziert durch Vibratoren auf dem Mastoid, als Hörschall wahrgenommen werden kann [5], [6]. Als Ursache dieser Hörereignisse, die oft im Bereich der oberen Grenze des individuellen Hörbereichs liegen, werden durch Körperschallübertragung angeregte Schwingungen des Innenohrs vermutet.

Als Luftschall gilt Ultraschall dagegen im Allgemeinen nicht bewusst wahrnehmbar. Allerdings berichtete Lenhardt (2007) von Messergebnissen die eine Körperschalleinkopplung von Ultraschall durch die Augen zumindest potentiell denkbar erscheinen lassen [7]. Lenhardt vermutete darin eine Begründung für die unter Einwirkung von hochpegeligem Ultraschall häufig beobachteten Symptome wie Schwindel, Übelkeit, Kopfschmerzen, sowie Hörverlust und Tinnitus [8]-[10].

Bisher konnte nur eine einzige Studie gefunden werden, in der versucht wurde kortikale Aktivitätsmuster bei Darbietung von Ultraschallsignalen zu finden: So untersuchten Oohashi et al. (2000) den Einfluss von Ultraschallkomponenten in akustischen Stimuli hinsichtlich der Anregung kortikaler Aktivität, gemessen mit Elektroenzephalografie (EEG). Laut den berichteten Ergebnissen führen ausschließlich Kombinationen von hörbaren und nicht hörbaren Komponenten zu einem Anstieg der Leistung des okzipitalen Alphabandes. Diesen Effekt nannten die Autoren den „Hypersonic Effect“.

In der vorliegenden Masterarbeit soll die Studie von Oohashi et al. hinsichtlich Methodik und Interpretation der Ergebnisse kritisch analysiert und durch Verbesserung und Erweiterung bestimmter Versuchsparameter repliziert werden.

Die Stimuli, die Oohashi et al. verwendeten, enthielten Ultraschallanteile im Bereich von 24kHz bis 50kHz. Damit lagen sie weit über dem als wahrnehmbar betrachteten Bereich [11]. Dennoch konnten Oohashi et al. signifikante Korrelationen von nicht wahrnehmbaren Ultraschallkomponenten und kortikaler Aktivität beobachten.

Dieses unerwartete Ergebnis ist jedoch an einer kritischen Diskussion der verwendeten Methodik zu relativieren. Um ihre Stimuli zu generieren, verwendeten Oohashi et al. die Aufnahme eines balinesischen Gamelanorchesters, welche reich an hochfrequenten Anteilen war und separierten diese in ihre hoch- (HFS) und tieffrequenten Komponenten (LFS). Daraus erstellten Oohashi et al. vier Stimuluskombinationen: 1) HFS 2) LFS 3) HFS+LFS und 4) *baseline* = kein Ton. Die Trennfrequenz für HFS und LFS lag bei ca. 26 kHz. Alle Stimuli wurden 200 Sekunden lang präsentiert. Der Schalldruckpegel der (Hörschall-)Stimuli wurde laut Bericht auf 80 - 90 dB_{SPL} eingeregelt. Der genaue Schalldruckpegel der Ultraschallstimuli konnte somit nur aus einer vorliegenden Darstellung des Gesamtspektrums abgeschätzt werden und muss – aufgrund eines dort sichtbaren kontinuierlichen Höhenabfalls von ca. 10dB/Oktav – weit unterhalb von 80 dB_{SPL} gelegen haben. LFS- und HFS-Stimuli wurden aus dem breitbandigen Ausgangssignal durch steilflankige Trennfilter bei einer relativ hohen Übergangsfrequenz (26 kHz) erzeugt, wobei letztere garantieren sollte, dass der HFS-Pegel bei 20 kHz bereits unterhalb des Eigenrauschens des Wiedergabesystems lag. Bei dieser Vorgehensweise ist allerdings nicht ausgeschlossen, dass auch die LFS-Bedingung noch relevante Schallanteile im Ultraschallbereich enthielt.

In mehreren Experimenten und unter randomisiertem Anbieten aller Stimuli fanden Oohashi et al. schließlich einen Effekt ihrer Stimuli, nämlich eine signifikante Energieerhöhung im okzipitalen Alphaband¹, und zwar nur(!) für die HFS+LFS-Bedingung und nicht unter den Bedingungen *baseline*, HFS oder LFS allein. Dieses Ergebnis erschwert plausible Schlussfolgerungen und nährt ganz allgemein Zweifel an den Ergebnissen der Studie.

So ist zum Beispiel kritisch zu bewerten, dass Oohashi et al. während eines ihrer Experimente (Experiment I) ihre Probanden darum baten, die Augen während des Versuchs geschlossen zu halten, um, wie sie sagten, den Einfluss des visuellen Systems auf die EEG-Messung und hierbei vor allem auf die Werte des okzipitalen Alphabands zu unterdrücken. Problematisch hierbei ist, dass das Schließen der Augen im Allgemeinen ohnehin zu einer starken Erhöhung der Energie des okzipitalen Alphabandes führt. Allerdings wurde der in Experiment I gefundene Effekt auch in Experiment II - dort jedoch bei offen gehaltenen Augen, gefunden - so dass das konstante Geschlossen-/Geöffnethalten der Augen anscheinend maximal einen konstanten und damit vernachlässigbaren Einfluss auf die Messergebnisse hatte.

Schließlich bleibt es das primäre Forschungsziel des geplanten Projekts neurophysiologische Reaktionen aufgrund der Beschallung mit Ultraschall eindeutiger nachzuweisen. Dabei sollten die genannten methodischen Kritikpunkte der Oohashi-Studie und die erwähnten Erfahrungen im Zusammenhang mit der auditiven Wahrnehmbarkeit von Ultraschall berücksichtigt und der potentielle Wissensgewinn durch Anpassung und systematische Erweiterung der Versuchsparameter erhöht werden. So sollen z.B. - im Unterschied zu Oohashi et al. - die Latenzen und Amplituden evozierter Potential in der Zeitdomäne als validere Indikatoren neuronaler Aktivität (vor allem beim Nachweis sog. Orientierungsreaktionen) erhoben werden.

Methodik

Um die oben genannte Fragestellung empirisch zu untersuchen, sollen verschiedene akustische Stimuli mit (a) gezielt variiertes Bandbreite und in (b) verschiedenen Schallpegelstufen (gefärbte Rauschbursts, Dauer 200 ms) präsentiert werden. Die kortikalen Reaktionen auf diese Signale werden als auditiv evozierte Potentiale (AEPs) bestimmt und mittels EEG gemessen. Im Gegensatz zu der Studie von Oohashi et al. ist so nicht nur eine klare Trennung der unabhängigen Variablen (a) und (b) gegeben, die Betrachtung des kortikalen Signals in der Zeitdomäne ist außerdem eindeutiger als direkte Reaktion auf die präsentierten Stimuli zu klassifizieren als die von Oohashi et al. untersuchten Variationen im okzipitalen Alphaspektrum.

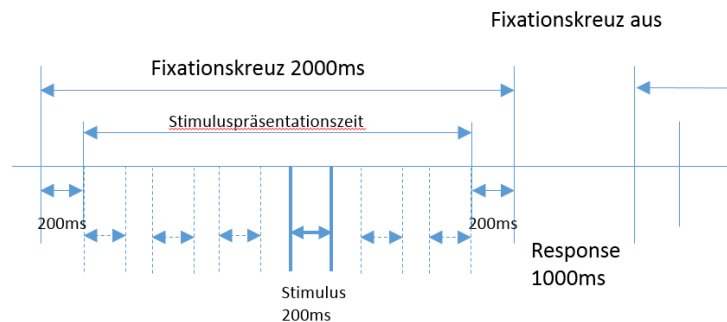
Die akustischen Stimuli werden als .wav-Dateien von Mitarbeitern des Fachgebiets Audiokommunikation TU-Berlin zur Verfügung gestellt. Um den Einfluss von Frequenzen und Schalldruckpegel auf kortikale Reaktion bestimmen zu können, werden sechs akustische Bedingungen definiert: (a) Eine *baseline*-Bedingung, bei der kein Signal präsentiert wird und welche als Referenzwert dient, (b) ein gut hörbares Rauschsignal mit konstanter Leistung in konstanten relativen Bandbreiten (rosa Rauschen), dessen Frequenzbandbreite das Spektrum des menschlichen Hörens komplett abdeckt (Low Frequency Full Range, LF_{FR} bei 60dB_{SPL}), ein gut hörbares ebenfalls

¹[12] Gramann, Klaus & Schandry, Rainer (2009): *Psychophysiologie: Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens* 4. Auflage, Weinheim: Beltz Verlag S. 138: "Insbesondere die relativ sinusförmigen Alpha-Wellen in einem Frequenzbereich zwischen 8 und 13 Hz sind mit dem Auge relativ gut erkennbar. Der entspannte Wachzustand ist durch den höchsten Anteil an Alpha-Wellen gekennzeichnet. Besonders wenn Probanden die Augen geschlossen halten, sind AlphaWellen als Bestandteil des Spontan-EEGs beobachtbar."

rosa gefärbtes Schmalbandrauschen mit der Bandbreite einer Oktave um eine Frequenz von 3 kHz ($LF_{3\text{kHz}}$ bei 60dB_{SPL}) sowie drei rosa gefärbte Ultraschallstimuli (Highfrequency, HF) mit einer Bandbreite von 32 kHz bis 40 kHz² deren Schalldruckpegel in drei Stufen um je 5dB variiert: $HF_{70\text{dB}_{\text{SPL}}}$, $HF_{75\text{dB}_{\text{SPL}}}$ und $HF_{80\text{dB}_{\text{SPL}}}$. Um die von Oohashi et al. berichteten Ergebnisse aus dem Frequenzbereich unter Zeitbereichsbetrachtung replizieren zu können, werden zusätzlich die Kombinationen: $LF_{\text{FR}} + HF_{70\text{dB}_{\text{SPL}}}$, $LF_{\text{FR}} + HF_{75\text{dB}_{\text{SPL}}}$, $LF_{\text{FR}} + HF_{80\text{dB}_{\text{SPL}}}$, $LF_{3\text{kHz}} + HF_{70\text{dB}_{\text{SPL}}}$, $LF_{3\text{kHz}} + HF_{75\text{dB}_{\text{SPL}}}$ und $LF_{3\text{kHz}} + HF_{80\text{dB}_{\text{SPL}}}$ präsentiert. Die vollständige Kombination von drei Hörschallbandbreitenbedingungen (0 Hz, $LF_{3\text{kHz}}$, LF_{FR}) mit 4 Ultraschallpegelstufen (0, 70, 75 und 80 dB_{SPL}) ergibt 12 Testbedingungen, die in einem *within-subjects* Ansatz mit vollständiger Messwiederholung untersucht werden sollen.

Versuchsablauf:

Auf einem Bildschirm wird für 2000 ms ein Fixationskreuz dargeboten. In einem Intervall von 200 ms nach Darbietung des Fixationskreuzes bis 200 ms vor Ablauf der Darbietung wird ein akustischer Stimulus für 200 ms präsentiert. Der Zeitpunkt der Stimuluspräsentation variiert in diesem Intervall um Erwartungseffekte zu unterdrücken. Auf einen gehörten Ton sollen die Versuchspersonen mit einem Knopfdruck auf der Tastatur vor ihnen reagieren. Jede der Bedingungsvariationen soll je VP 100-mal präsentiert werden. Mit einer Trialdauer von 3 s erhält man eine Netto-Versuchsdauer von genau einer Stunde je VP, welche jedoch in



5 kleinere Abschnitte unterteilt werden soll. So soll Ermüdungserscheinungen entgegengewirkt werden. Da es sich hier um ein teststarkes *within-subjects* Design handelt, werden 12-15 VP als ausreichend erachtet. Die sich so ergebende Anzahl von 1200 bis 1500 Trials pro Bedingung ist auch für die Bestimmung der AEPs hinreichend hoch [13].

Die Versuchsreihe wird in einem geräuschisolierten Raum des Fachgebiets Audiokommunikation an der Technischen Universität Berlin durchgeführt. Die *.wav-Dateien der 12 verschiedenen Stimuli sowie die audiotechnische Seite der Versuchsumgebung werden ebenfalls vom Fachgebiet Audiokommunikation zur Verfügung gestellt. Die Signalausgabe erfolgt bei einer Audioabtastrate von 96 kHz über einen Aktivlautsprecher vom Typ Genelec 8020 mit einem equalisierten Übertragungsbereich von ca. 40 kHz. Das EEG-Signal wird mit 64 Ag/AgCl-Elektroden, angebracht in einer elastischen Kappe (EASYCAP GmbH, Wörthsee-Ettersschlag, Deutschland) abgeleitet. Die Verstärkung und Aufnahme des Signals erfolgt mit BrainAmp Verstärkern (Brainproducts, München, Germany). Bereitgestellt werden die Gerätschaften vom Fachgebiet Biopsychologie und Neuroergonomie TU Berlin. Das Probandenkollektiv wird aus 12 bis 15 gesunden Personen bestehen. Voraussetzung für die Teilnahme am Versuch ist ein einwandfrei funktionierendes Gehör und keine bekannten neurologischen Erkrankungen.

² Die Ultraschallstimuli wurden durch Bandpassfilterung eines breitbandigen Rosa Rauschens hergestellt. Dazu wurden steiflankige elliptische Filter mit einer Stopbanddämpfung von 80 dB bei 30 bzw. 42 kHz verwendet.

Auswertung:

Für die Auswertung der Daten werden die Komponenten (Amplitude und Latenz) der evozierten Potentiale (N1, P2) für die verschiedenen Bedingungen verglichen. Allgemein werden bei dieser Art des Versuchsaufbaus mit steigenden Signalintensitäten auch steigende Amplituden und sinkende Latenzen erwartet [14]. Die Berechnung, sowie die Analyse der Daten wird mit der Software BrainVision Analyzer 2.0 durchgeführt.

Unabhängige und abhängige Testvariablen:

- UV1: - Hörschallbandbreite (3 Stufen: 0Hz, Oktavrauschen um 3kHz, *Fullrange*-Rauschen)
- UV2: - Ultraschallpegel in dB_{SPL} (4 Stufen: 0dB, 70dB, 75dB, 80dB) bei 32-40 kHz
- AV1: - Amplitude der N1 sowie der P2-Komponente des akustisch evozierten Potentials (AEP)
- AV2: - Latenz der N1- sowie der P2-Komponente des akustisch evozierten Potentials

Zusätzlich werden weitere Parameter erhoben (Soziodemografie, Persönlichkeitseigenschaften, aktuelle Stimmungslage, Erschöpfung u.Ä.) die als Kovariate in eine spätere inferenzstatistische Auswertung einfließen können.

Hypothesen:

- H1: Die Darbietung eines gut hörbaren Tones führt zu Entstehung eines AEPs
- H1.1: Die Darbietung eines reinen Ultraschalltones führt zu Entstehung eines AEPs
- H2: Je höher der Schalldruckpegel der Ultraschallkomponente, desto größer die Amplituden der N1 und P2 Komponente der AEP. Dieser Zusammenhang wird für jede Stufe des Faktors Basisbandbreite erwartet. Genauer werden also die folgenden Hypothesen untersucht:
 - H2.1a: Für eine Basisbandbreite von 0 Hz wird erwartet, dass je höher der Schalldruckpegel der Ultraschallkomponente ist, desto größer die Amplituden der N1 und P2 Komponente der AEP sind.
 - H2.1b: Für eine Basisbandbreite von FR wird erwartet, dass je höher der Schalldruckpegel der Ultraschallkomponente ist, desto größer die Amplituden der N1 und P2 Komponente der AEP sind.
 - H2.1c: Für eine Basisbandbreite einer Oktav um 3 kHz wird erwartet, dass je höher der Schalldruckpegel der Ultraschallkomponente ist, desto größer die Amplituden der N1 und P2 Komponente der AEP sind.
- H2.2: Je höher der Schalldruckpegel der Ultraschallkomponente, desto kürzer die Latenz der N1 und P2 Komponente der AEPs. Auch diese Hypothese wird für jede Faktorstufe Basisbandbreite überprüft (H2.2a; H2.2b; H2.2c)

Statistische Auswertung:

Für die statistische Auswertung wird ein Linear Mixed Model mit den *within*-Faktoren Basisbandbreite (3-stufig) x Ultraschallpegel (4-stufig) für jede AV berechnet. Die Hypothesen H1 und H1.1 werden anhand eines Mittelwertvergleichs der Amplituden statistisch getestet. Entsprechend der Hypothesen (H2.1a-c sowie H2.2a-c) wird der Einfluss des Faktors Ultraschallpegel durch drei *a priori* formulierte Kontrasttests hinsichtlich jeder AV untersucht. Dabei

wird das Mittel der Amplitudenmittelwerte der Stufen 70 dB, 75 dB, 80 dB mit dem der Stufe 0 dB in allen Stufen des Faktors Basisbandbreite verglichen. Analog wird für die AV Latenz vorgegangen.

Geplanter zeitlicher Rahmen:

Nach der Fertigstellung des Hörversuchaufbaus können erste Vorversuche in der zweiten und dritten Aprilwoche (KW15/16) durchgeführt werden.

Nach deren Auswertung und eventuellen Anpassungen des Versuchsdesigns, können die Hauptversuche bis Ende Mai (KW22) abgeschlossen sein.

Die Fertigstellung der gesamten Masterarbeit wird bis Ende Sommersemester 2015 (Okt 2015) abgeschlossen sein.

Literatur:

- [1] Oohashi, T., et. al. (2000): „Inaudible High-frequency Sounds Affect Brain Activity: Hypersonic Effect.“ In: *Journal of Neurophysiology* 83:3548–3558
- [2] Seel, C. (2013): „Gute Stimmung aus dem Ultraschallgerät“ In: *Gesund-Magazin Psychologie*, Online verfügbar unter <http://www.onmeda.de/g-psychologie/ultraschallgeraet-1657.html> ([abgerufen am 20.05.2015](#))
- [3] Podbregar, N. (2014): „Ultraschall als Hirndoping“ In: *Bild der Wissenschaft*, Online verfügbar unter http://www.wissenschaft.de/leben-umwelt/hirnforschung//journal_content/56/12054/2770502/Ultraschall-als-Hirndoping/ ([abgerufen am 20.5.2015](#))
- [4] Goldstein, E. Bruce (2001): *Wahrnehmungspsychologie*, 4. Auflage, Oxford: Spektrum Lehrbuch
- [5] Deatherage, Bruce H.; Jefferess, Lloyd A.; Blodgett, Hugh C. (1954): „A Note on the Audibility of Intense Ultrasonic Sound“ In: *J. Acoust. Soc. Am.* 26, 582
- [6] Lenhardt, Martin L. (1991) “Human audition of ultrasound”, In: *Proc. of the 121st Meeting: Acoustical Society of America* Vol. 89(4):1940
- [7] Lenhardt ML. (2007) “Eyes as Fenestrations to the Ears: A Novel Mechanism for High-Frequency and Ultrasonic Hearing”. *Int. Tinnitus Journal.* 13(1):3-10
- [8] Parrack HO. (1966) “Effects of airborne ultrasound on humans.” *Int Aud* 5:294–308
- [9] Grzesik J, Pluta E. (1983) “High-frequency hearing risks of operators of industrial ultrasonic devices.” In: *Int Arch Occup Environ Health* 53(1):77–78
- [10] Grzesik J, Pluta E. (1986) “Dynamics of high-frequency hearingloss of operators of industrial ultrasonic devices”. In: *Int Arch Occup Environ Health* 57(2):137–142
- [11] Herbertz J. (1984): “Loudness of airborne ultrasonic airborne noise”. In *Ultrasonics International Conference Proceedings*,:S226–S231

- [12] Gramann, Klaus & Schandry, Rainer (2009): *Psychophysiologie: Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens* 4. Auflage, Weinheim: Beltz Verlag
- [13] Handy, Todd C. (2005): *Event-Related Potentials* 1. Auflage, London: The MIT Press
- [14] Buchner, Helmut & Noth, Johannes (2005): *Evozierte Potentiale, Neurovegetative Diagnostik, Okulographie*, 1. Auflage, Stuttgart: Thieme Verlagsgruppe