

Cross-Modality-Matching für Schall und Ganzkörpervibrationen

Stephan Töpken¹, Michael Bellmann², Reinhard Weber³

¹ Universität Oldenburg, Institut für Physik - Akustik, 26111 Oldenburg, Deutschland, Email: stephan.toepken@uni-oldenburg.de

² Itap GmbH, 26129 Oldenburg, Deutschland, Email: bellmann@itap.de

³ Universität Oldenburg, Institut für Physik - Akustik, 26111 Oldenburg, Deutschland, Email: reinhard.weber@uni-oldenburg.de

Einleitung

Geräusche und Vibrationen haben in alltäglichen Transportmitteln (Auto, Flugzeug, Bahn, Schiff) oftmals einen negativen Effekt auf den Fahr- und Passagierkomfort (engl. „ride-comfort“). Die Wahrnehmung der einzelnen Sinneswahrnehmungen ist dabei relativ genau untersucht worden, wohingegen das Zusammenwirken von Schall- und Vibrationseinwirkungen auf den Menschen noch sehr unerforscht ist. Im Folgenden wird eine mögliche Interaktion zwischen der Geräusch- und Vibrationenwahrnehmung untersucht. In einem Cross-Modality-Matching von Schall und Ganzkörpervibrationen (GKV) wird der Punkt subjektiv gleicher Wahrnehmungsstärke (Point of subjective equality - PSE) gemessen. Es ist zu erwarten, dass die stärkste Interaktion zwischen akustischen und vibratorischen Reizen bei einer zeitgleichen Darbietung auftritt. Deshalb wird als unabhängige Variable der zeitliche Versatz zwischen dem Beginn der Stimuli systematisch variiert. Dieser zeitliche Versatz wird im Allgemeinen als Stimulus Onset Asynchrony (SOA, Abb. 1) bezeichnet:

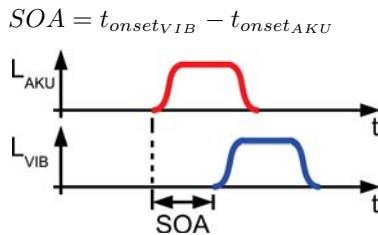


Abbildung 1: Stimulus Onset Asynchrony (SOA) zwischen vibratorischem und akustischem Reiz

Versuchsbeschreibung

Methode

Der PSE wird mit einem adaptiven 1 Intervall 2 AFC (1up-1down) Verfahren gemessen. Dabei wird die Anfangsschrittweite von 6 dB bei jedem oberen Umkehrpunkt halbiert bis zu einer Endschrittweite von 1.5 dB. Das arithmetische Mittel über die letzten vier Umkehrpunkte ergibt den PSE-Wert der Messung.

Stimuli

Die Schall- und Vibrationssignale sind Bandpassrauschen mit jeweils einer Bandbreite von einer halben Oktave. Das Schallsignal hat eine Mittenfrequenz von 100 Hz bei einem konstanten Pegel von 75 dB(SPL). Die Mittenfrequenz des Vibrationssignals beträgt 31.5 Hz. Der Startwert des Vibrationspegels liegt bei 100 dB (ref. $1\mu\text{m}/\text{s}^2$).

Die 1000 ms langen Signale werden durch ein halbes Hann-Fenster (100 ms) weich ein- und ausgeblendet.

Versuchsaufbau

Der Versuch wird auf einem vibro-akustischen Versuchsstand „Vibration-Floor“ [1] (Abb. 2) durchgeführt. Die Signalerzeugung, sowie die Versuchssteuerung erfolgt rechnergestützt mittels eines AFC-Softwaretools (entwickelt an der Universität Oldenburg) unter „Matlab“. Die digitalen Signale werden an einen externen DA-Wandler und Vorverstärker ausgegeben. Dessen linker Ausgang regt über einen Endverstärker den elektrodynamischen Shaker **S1** des „Vibration-Floor“ zu Vibrationen in vertikaler Richtung an. Der zweite Shaker **S2** wird in diesem Versuch nicht genutzt. Der rechte Ausgang versorgt über einen Kopfhörerverstärker einen geschlossenen, dynamischen Kopfhörer **KH** (Sennheiser HDA 200). Unter der Sitzfläche des Holzstuhls misst ein Aufnehmer **A** die Beschleunigungsamplituden.

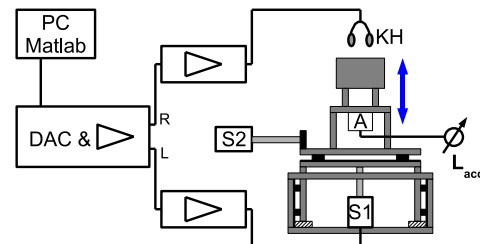


Abbildung 2: Schematischer Versuchsaufbau zur Messung des PSE für Schall und Ganzkörpervibrationen: Shaker **S1**, **S2**, Beschleunigungsaufnehmer **A**, Kopfhörer **KH**

Versuchspersonen und Versuchsdurchführung

An den einzelnen Versuchsteilen nehmen fünf (VT1, VT3) oder sechs (VT2) trainierte Personen im Alter von 28 bis 38 Jahren teil. Während des Versuchs sitzt ein Proband auf dem ungepolsterten Stuhl, der fest mit der Vibrations-Plattform verbunden ist. Die Versuchsperson bekommt zwei Stimuli für eine SOA dargeboten und hat anschließend die Aufgabe zu entscheiden, ob das akustische oder vibratorische Signal subjektiv stärker wahrgenommen wird. Die Antwort erfolgt durch Drücken einer Taste auf einem Keyboard.

Inter- und intraindividuelle Unterschiede des PSE (Versuchsteil 1)

SOA-Konfiguration

Zur Bestimmung der inter- und intraindividuellen Unterschiede wird der PSE für drei SOA-

Werte -1500 ms, 0 ms, 1500 ms - gemessen. Für SOA = -1500 ms und 1500 ms ist zwischen den Stimuli eine Pause von 500 ms. Pro Session wird der PSE pro SOA (randomisiert) dreimal gemessen und bei insgesamt drei Sessions an unterschiedlichen Tagen liegen insgesamt neun Einzelmessungen des PSE pro SOA vor.

Ergebnisse

In Abbildung 3 (links) sind PSE-Mittelwerte der Teilnehmer aus neun Einzelmessungen (gestrichelt) und Mittelwert und Standardabweichung aus (allen) 45 Messungen pro SOA (Linie) dargestellt. Rechts sind die intra- (je 9 Messwerte pro VP) sowie interindividuellen (Mittelwerte pro 5 VP) Standardabweichungen des PSEs über den SOAs dargestellt. Die interindividuelle Standardabweichung liegt in der Größenordnung von 4 dB und die intraindividuellen Standardabweichungen variieren von 0.5 dB bis maximal 2.5 dB. Die mittlere intraindividuelle Standardabweichung liegt bei etwa 1.5 dB, in der Größenordnung der gerade wahrnehmbaren Pegelunterschiede (just noticeable differences in level - JNDL) für GKV.

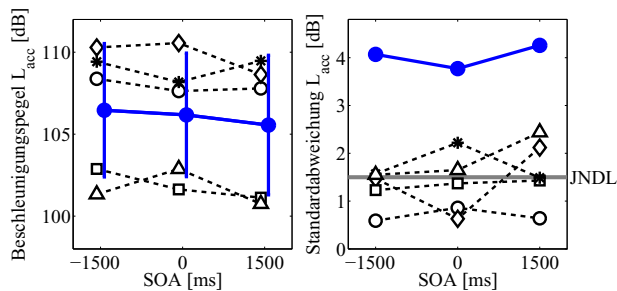


Abbildung 3: links: PSE-Mittelwerte der fünf Teilnehmer (gestrichelt) sowie Mittelwert und Standardabweichung der PSE-Mittelwerte aller fünf Teilnehmer (Linie), rechts: Intraindividuelle (gestrichelt) und interindividuelle (Linie) Standardabweichung des PSEs der fünf Teilnehmer von Versuchsteil VT1

SOA-Einfluss auf den PSE (Versuchsteile 2 und 3)

SOA-Konfiguration

Zur Untersuchung einer Abhängigkeit des PSE von der SOA wird in den folgenden beiden Versuchsteilen - VT2 und VT3 - für jeweils 11 SOA-Werte der PSE gemessen. Im VT2 beträgt das SOA-Raster 500 ms im Intervall von -2500 ms bis +2500 ms. Im VT3 wird ein SOA-Intervall von -1500 ms bis 1500 ms mit einem feineren SOA-Raster von 250 ms im Stimuli-Überlappungsbereich gewählt, da die hier nicht dargestellten individuellen PSE-Verläufe aus VT2 in diesem Bereich die größten Ausprägungen aufweisen. Pro Session werden jeweils 11 SOAs randomisiert gemessen, und insgesamt drei Sessions an unterschiedlichen Tagen durchgeführt. Somit liegen insgesamt drei PSE-Messwerte pro SOA und Versuchsteil vor.

Ergebnisse

In Abbildung 4 ist der Mittelwert der PSE-Mittelwerte ($N=3$) über alle Probanden und die interindividuelle Standardabweichung über der SOA für beide Versuchsteile leicht gegeneinander versetzt dargestellt. Für VT2 (Kreise) verläuft der PSE zwischen 104.5 dB und 106.5 dB mit einer leichten Überhöhung für die SOA von 0 ms. Für VT3 (Rauten) tritt dieses lokale Maximum nicht auf und der PSE verläuft mit leichten Schwankungen und fallender Tendenz von 105.5 dB bis auf 104.5 dB. Die interindividuelle Standardabweichung liegt für VT2 und VT3 unter der von VT1 und beträgt maximal 2.5 dB. Eine einfaktorische, univariate Varianzanalyse (ANOVA) ergibt keine signifikante Abhängigkeit des PSE-Beschleunigungspegels von der SOA.

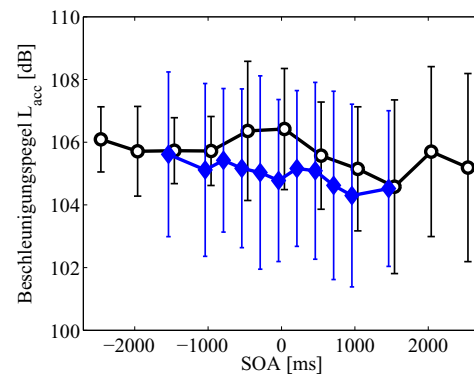


Abbildung 4: Mittelwert der PSE-Mittelwerte für ein 500 ms (VT2, Kreise) bzw. 250 ms (VT3, Rauten) SOA-Raster

Zusammenfassung

In einem Cross-Modality Matching Experiment wird der Point of subjective Equality (PSE) von akustischen Reizen und Ganzkörpervibrationen (GKV) gemessen. Dabei wird als unabhängige Variable der zeitliche Versatz (SOA) zwischen den akustischen und vibratorischen Stimuli variiert. Insgesamt zeigt sich, dass

- die Ergebnisse in drei Versuchsreihen (VT1-VT3) gut reproduzierbar sind,
- die intraindividuelle Standardabweichungen für den PSE in der Größenordnung der JNDL für GKV liegen,
- kein statistisch signifikanter Einfluss des zeitlichen Versatzes beider Signale auf den PSE für GKV gefunden wird.

Literatur

- [1] Bellmann, M.: Perception of Whole-Body Vibrations: From basic experiments to effects of seat and steering-wheel vibrations on the passenger's comfort inside vehicles. Dissertation, Universität Oldenburg 2002
- [2] Kaufmann, A., Bellmann, M., Weber, R.: "Cross-Modality-Matching" zwischen Schall und Vibrationsignalen. Fortschritte der Akustik, DAGA 2007