

„Cross-Modality-Matching“ zwischen Schall- und Vibrationssignalen

Andreas Kaufmann¹, Michael Bellmann², Reinhard Weber¹

¹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 26111 Oldenburg, Deutschland, Email: andreas.kaufmann@uni-oldenburg.de

² Institut für technische und angewandte Physik - itap GmbH, 26129 Oldenburg, Deutschland, Email: bellmann@itap.de

1. Einleitung

Im alltäglichen Leben ist der menschliche Körper z.B. im Straßen-, Bahn- und Flugverkehr oder auch bei der Arbeit verschiedensten Ganzkörpervibrationen ausgesetzt. Oftmals geht die Vibrationsexposition mit einer zeitgleichen akustischen Belastung einher. In der Literatur existieren viele separate Untersuchungen zur Schall- und Vibrationswahrnehmung, jedoch nur sehr wenige, die die Zusammenhänge zwischen den beiden Wahrnehmungsmodi untersuchen.

Im Folgenden wird über ein Cross-Modality-Matching (CMM) zwischen der Lautstärke und der Stärke von Ganzkörpervibrationen berichtet. In verschiedenen Experimenten wird untersucht, wie die Darbietungsreihenfolge der vibratorischen und akustischen Stimuli, der Referenzpegel des akustischen Stimulus und der Startbeschleunigungspegel die (der Ausprägtheit der Lautstärkeempfindung äquivalente) Vibrationsstärke beeinflussen.

2. Versuch

Aufbau

Die Experimente werden auf einem vibro-akustischen Prüfstand, „Vibration-floor“ genannt [1], im Labor durchgeführt. Der prinzipielle Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. In dieser Studie wird nur die vertikale Anregung mit Ganzkörpervibrationen verwendet. Sämtliche Stimuli werden im PC generiert, danach D/A-gewandelt und vorverstärkt. Über zwei weitere Verstärker wird das Signal auf einen Shaker bzw. Kopfhörer weitergeleitet. Die Probanden sitzen auf einem starren Stuhl

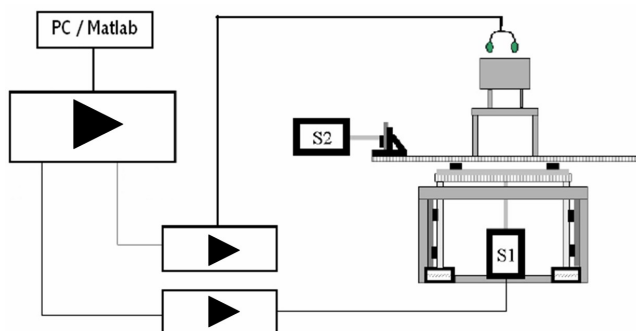


Abbildung 1: Prinzipskizze des Versuchsaufbaus (abgewandelt aus [2]). Mit s_1 ist der für die Experimente verwendete vertikal angebrachte Shaker bezeichnet.

mit Rückenlehnen, aber ohne Armlehnen. Die Vibrationen werden über die Füße und den Stuhl in den menschlichen Körper eingeleitet. Der vibro-akustische Aufbau befand sich in einem Labor mit sehr geringem Hintergrundschall.

Versuchspersonen

Insgesamt nahmen zehn Probanden (2 weiblich, 8 männlich) an den Experimenten teil. Das Alter der Probanden lag zwischen 22 und 50 Jahren (Mittelwert=32Jahre). Die Probanden hatten zum Zeitpunkt der Experimente keinerlei Verletzungen oder Krankheiten, die die Versuchsergebnisse beeinflussen könnten.

Messmethode und Stimuli

Es sind drei Experimente durchgeführt worden mit dem Ziel, Punkte gleicher Empfindungsstärke (50%, PSE) zu messen. Dabei sind in den beiden ersten Experimenten Schall- und Vibrationssignal nacheinander dargeboten worden und im Dritten lag eine zeitgleiche Darbietung vor (siehe Abb. 2). Das Cross-Modality-Matching wird mit zwei Methoden durchgeführt, wobei immer der Pegel des Vibrationssignals adaptiv verändert wird. Bei nicht simultaner Darbietung wird eine adaptive 2-Intervall 2-AFC 1-up 1-down Methode verwendet. Dabei enthält im 1. Experiment das erste Intervall das vibratorische Signal und im zweiten Intervall liegt das auditorische Signal vor. Im 2. Experiment ist die Darbietungsreihenfolge genau umgekehrt. Im 3. Experiment wird eine simultane Darbietung genutzt. Dafür wird eine adaptive 1-Intervall 2-AFC 1-up 1-down Methode verwendet. Die Aufgabe

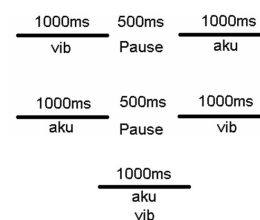


Abbildung 2: Präsentationsparadigma: Oben ist das 1. Experiment, in der Mitte das 2. Experiment und unten das 3. Experiment dargestellt.

der Probanden ist für alle drei Experimente gleich: „Welches Signal empfinden Sie subjektiv als stärker?“ Je nach Antwortverhalten wird der Vibrationspegel erhöht oder erniedrigt. Die Anfangsschrittweite beträgt 6dB. Nach jedem oberen Umkehrpunkt wird die Schrittweite erniedrigt bis zu einer Endschrittweite von 1.5dB. Der Messwert ist der Mittelwert aus den letzten 4 Umkehrpunkten mit der geringsten Schrittweite.

Das verwendete Testsignal ist für das auditorische wie auch für das vibratorische Signal ein normalverteiltes bandbegrenzttes weisses Rauschen mit der Bandbreite einer halben Oktave. Für das vibratorische Signal liegt die Mittenfrequenz bei 31.5Hz und für das auditorische Signal bei 100Hz.

In den ersten beiden Experimenten werden jeweils neun verschiedene Konditionen gemessen. Das akustische Referenzsignal hatte Pegel von 70dB SPL, 75dB SPL und 80dB SPL. Um den Einfluss des Startpegels der Vibrations-Testsignale zu untersuchen, wurden bei den ersten beiden Experimenten jeweils drei verschiedene Startbeschleunigungspegel von 95dB, 100dB und 105dB verwendet. Im 3. Experiment wird nur der Referenzpegel variiert: 70dB SPL, 75dB SPL und 80dB SPL. Der Startpegel der Vibration ist fest bei 100dB. Jeder Versuch wurde für jede Versuchsperson (VP) 5 mal wiederholt. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse sind die Mittelwerte über alle VPn und Wiederholungen.

3. Darstellung der Ergebnisse

Einfluss des Startbeschleunigungspegels

Die Abbildung 3 zeigt eine Mittelung der Einzelergebnisse je Kondition über alle Probanden für das 1. und 2. Experiment. Die leichte Versetzung der einzelnen Farben dient ausschließlich der Übersicht. Im Gegensatz zu den großen interindividuellen Unterschieden sind die intraindividuellen Unterschiede sehr gering ($< 2\text{dB}$, hier nicht dargestellt). Dies weist auf eine hohe Reproduzierbarkeit hin. Im 1. Experiment ist für alle drei Referenz-

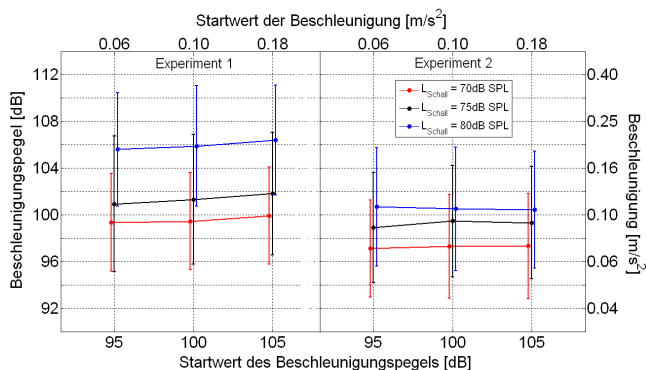


Abbildung 3: Mittelwerte (und Standardabweichungen) der eingestellten Pegel des Vibrationssignals, das genauso stark wie die Lautstärke des angebotenen Schalles empfunden wird. Gemittelt wird über alle Probanden des 1. und 2. Experiments für drei Referenz-Schalldruckpegel und drei Startbeschleunigungspegel.

Schalldruckpegel ein leichter Anstieg von ca. 1dB zwischen 95dB und 105dB im Startbeschleunigungspegel zu erkennen. Dieser Effekt ist jedoch statistisch nicht signifikant ($p > 5\%$). Im 2. Experiment ist ein Ansteigen durch Anheben des Startbeschleunigungspegels von 95dB auf 105dB nicht mehr gegeben. Es zeigt sich bei den beiden ersten Experimenten kein signifikanter Einfluss des Startbeschleunigungspegels auf die Kurven gleicher Wahrnehmungsstärke. Jedoch sind deutliche Unterschiede in den Ergebnissen des 1. und 2. Experiments zu erkennen.

Einfluss der Darbietungsreihenfolge

Eine Gegenüberstellung aller drei Experimente für einen Startbeschleunigungspegel von 100dB zeigt die Abbildung 4. Durch Anhebung des Schalldruckpegels des akustischen Referenzsignals von 70dB SPL auf 75dB SPL

erhöht sich der mittlere Wert des Beschleunigungspegels im jeweiligen der drei Experimente ungefähr gleich stark um 2dB. Durch nochmalige Erhöhung des Schalldruckpe-

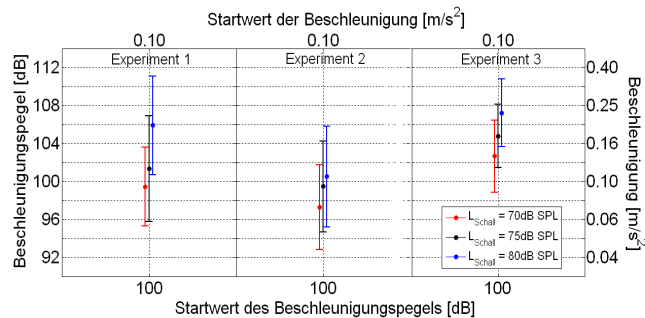


Abbildung 4: Mittelwerte (und Standardabweichungen) der eingestellten Pegel des Vibrationssignals, das genauso stark wie die Lautstärke des angebotenen Schalles empfunden wird. Gemittelt wird über alle Probanden der drei Experimente für einen Startbeschleunigungspegel von 100dB bei drei unterschiedlichen Referenz-Schalldruckpegeln.

gels des akustischen Referenzsignals um 5dB führt dies im 2. Experiment im Mittel auf einen um 1dB, im 3. Experiment um einen ca. 2.2dB und im 1. Experiment um einen ca. 4.5dB höheren Wert. Allgemein werden im 2. Experiment die niedrigsten Werte und im 3. Experiment die höchsten Werte erreicht. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Experimenten sind statistisch signifikant ($p < 5\%$).

5. Zusammenfassung

Das Cross-Modality-Matching zwischen der wahrgenommenen Stärke von Ganzkörpervibrationen und der Lautstärke zeigt bei Variation der Darbietungsreihenfolge von akustischen und vibratorischem Signal, bei Variation des akustischen Pegels und des Startpegels des Vibrationssignals für das gewählte Versuchssetting folgende Ergebnisse:

- signifikanter Reihenfolgeeffekt
- signifikanter Einfluss des Referenzsignal-Schalldruckpegels
- kein Einfluss vom Startwert des Beschleunigungspegels
- kleine intraindividuelle Unterschiede
- große interindividuelle Unterschiede

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 an der Universität Oldenburg, 2002

[2] Hölling, M.: Entwicklung eines Aufbaus zur Untersuchung von Ganzkörpervibrationen in zwei Raumrichtungen, Diplomarbeit an der Universität Oldenburg, 2004