

# Einfluss der zeitlichen Frequenzveränderung auf die audio-taktile Integration im Fahrzeug

Ercan Altinsoy<sup>1</sup>, Sebastian Merchel<sup>2</sup>

Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 01062 Dresden, Deutschland

<sup>1</sup>Ercan.Altinsoy@ias.et.tu-dresden.de <sup>2</sup>Sebastian.Merchel@tu-dresden.de

## Einleitung

Im Fahrzeuginnenraum werden Schall sowie Ganzkörperschwingungen gleichzeitig wahrgenommen. Durch Interaktion der beiden Sinnesmodalitäten ergibt sich ein Gesamtfahrzeuginnenraumeindruck. Diese multimodale Interaktion und Integration zweier Stimuli ist abhängig von unterschiedlichen physikalischen Parametern wie Synchronität, Frequenz, Ort oder Intensität. In vorherigen Untersuchungen wurden sinusoidale Signale sowohl vibratorisch, als auch akustisch wiedergegeben. Damit diese von einer Versuchsperson als ein multimodales Ereignis wahrgenommen werden, darf zum Beispiel ihre Frequenz nur in bestimmten Grenzen voneinander abweichen [1,2]. Bei solchen Experimenten werden die zu untersuchenden Parameter meist zeitlich konstant gehalten. Aber in der Realität (zum Beispiel im Fahrzeug oder bei musikalischen Darbietungen) verändern sich diese Parameter zeitlich. In diesem Beitrag wird, unter Berücksichtigung bisheriger Studien, der Einfluss der zeitlichen Frequenzänderung auf die audio-taktile Integration untersucht.

## Vibroakustische Aufnahmen im Fahrzeug

Zuerst müssen die im Fahrzeug vorkommenden vibroakustischen Situationen erfasst und beschrieben werden. Dazu erfolgen mehrkanalige Messungen von Luft- und Körperschall. Um die Frequenzeigenschaften des akustischen und vibratorischen Signals in den stationären und instationären Zuständen vergleichen zu können, werden der Leerlauf und der Vollast-Hochlauf im 3. Gang als Betriebszustände ausgewählt.

Weil die akustische Messung am Fahrersitzplatz stattfinden sollte, wurde ein binaurales In-Ohr-Mikrofon-System (Panasonic WM-61A) zusammengestellt und für die Messungen benutzt. Bei dem binauralen In-Ohr-Mikrofon-System bekommt der Fahrer die Mikrofone, genau wie beim Kunstkopf, an den Anfang des Gehörkanals platziert. Um sie dort zu fixieren, wurden sie in Gehörschützer eingelassen und verklebt, welche dann in den Ohrkanal eingeschoben werden.

Das Triaxial Deltatron Seat accelerometer Type 4515B von Brüel & Kjær wurde zum Ermitteln der Ganz-Körperschwingungen, welche durch den Sitz in den Körper des Fahrers eingeleitet werden, verwendet.

Als Beispiel ist in Abbildung 1 ist das Ergebnis einer FFT-Analyse für den Leerlauf-Zustand dargestellt. Die im Spektrum besonders hervortretenden Komponenten entsprechen die Motorordnungen. Die starke Korrelation

zwischen vibratorischem und akustischem Signal ist gut erkennbar.

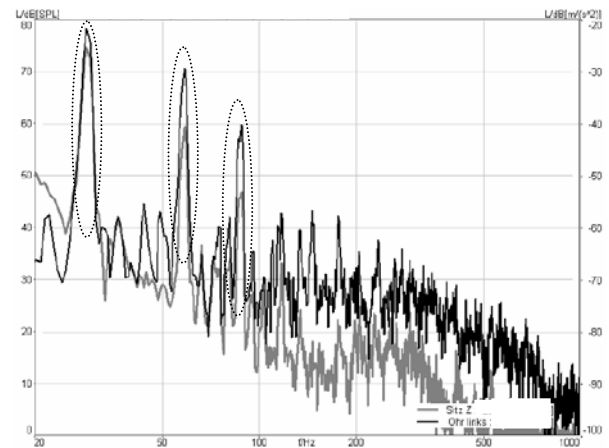


Abbildung 1: Korrelation zwischen akustischem und vibratorischem Signal am Sitz im Leerlauf-Zustand (FFT-Analyse, FFT-Länge 65536).

Abbildung 2 zeigt das Ergebnis einer FFT vs. Zeit - Analyse für einen Vollast-Hochlauf-Zustand. Die starke Korrelation zwischen vibratorischem und akustischem Signal ist auch im den instationären Zustand sehr gut erkennbar. Besonders treten Motorordnungen bei beiden Signalen hervor.

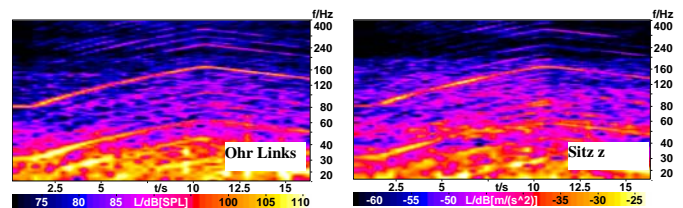


Abbildung 2: Korrelation zwischen akustischem und vibratorischem Signal am Sitz. Ein Vollast-Hochlauf im 3. Gang (FFT vs. Time, FFT-Länge 32768).

## Die Experimente

Acht Versuchspersonen (sechs Männer und zwei Frauen) mit Normalhörfähigkeit nahmen an diesem Experiment teil. Sie waren zwischen 26 und 55 Jahren alt (Mittelwert: 41 Jahre). Ihr Gewicht betrug 58 – 105 kg (Mittelwert: 78 kg) Alle gaben an, nicht an Wirbelsäulenbeschwerden zu leiden. Sechs VP fahren täglich Auto, zwei VP fahren selten.

Die Ganzkörperschwingungssignale wurden durch einen elektrodynamischen Schwingungserreger in der vertikalen Richtung produziert (z-Achse). Ein starrer hölzerner Sitz

ohne eine Rückenlehne wurde auf den Schwingungserreger montiert. Das Übertragungsverhalten in vertikaler Richtung wurde ermittelt und mit Hilfe inverser Filter in MATLAB kompensiert. Die akustischen Stimuli wurden verstärkt und durch einen geschlossenen Kopfhörer (Sennheiser HDA 200) dargeboten. Der Schalldruckpegel betrug 80 dB und die Intensität der Vibration an der Plattform wurde auf 1,9 m/s<sup>2</sup> eingestellt.

Die Sweep-Signale werden als Stimuli ausgewählt. Die Stimuluslänge betrug 6 Sekunden. Während des Experiments war der Frequenzbereich des Vibrationssignals immer gleich (Lin. Sweep: 20 Hz – 100 Hz). Nur der Frequenzbereich des akustischen Signals wurde verändert (Siehe Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Liste der Stimuli

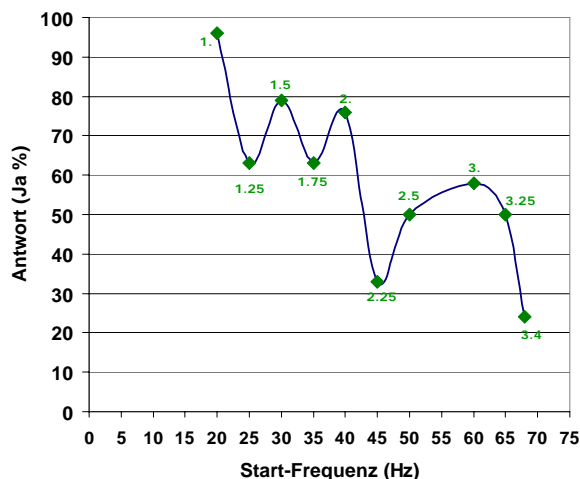
		Vibration	Audio
Exp. Teil 1	f 1_1	20 Hz – 100 Hz	20 Hz – 100 Hz
	f 1_2	20 Hz – 100 Hz	25 Hz – 125 Hz
	f 1_3	20 Hz – 100 Hz	30 Hz – 150 Hz
	f 1_4	20 Hz – 100 Hz	35 Hz – 175 Hz
	f 1_5	20 Hz – 100 Hz	40 Hz – 200 Hz
	f 1_6	20 Hz – 100 Hz	45 Hz – 225 Hz
	f 1_7	20 Hz – 100 Hz	50 Hz – 250 Hz
	f 1_8	20 Hz – 100 Hz	60 Hz – 300 Hz
	f 1_9	20 Hz – 100 Hz	65 Hz – 325 Hz
	f 1_10	20 Hz – 100 Hz	68 Hz – 340 Hz
Exp. Teil 2	f 2_1	20 Hz – 100 Hz	35 Hz – 115 Hz
	f 2_2	20 Hz – 100 Hz	35 Hz – 150 Hz
	f 2_3	20 Hz – 100 Hz	35 Hz – 175 Hz
	f 2_4	20 Hz – 100 Hz	35 Hz – 200 Hz
	f 2_5	20 Hz – 100 Hz	35 Hz – 250 Hz
	f 2_6	20 Hz – 100 Hz	35 Hz – 300 Hz
	f 2_7	20 Hz – 100 Hz	35 Hz – 350 Hz
Exp. Teil 3	f 3_1	20 Hz – 100 Hz	60 Hz – 140 Hz
	f 3_2	20 Hz – 100 Hz	60 Hz – 200 Hz
	f 3_3	20 Hz – 100 Hz	60 Hz – 250 Hz
	f 3_4	20 Hz – 100 Hz	60 Hz – 300 Hz
	f 3_5	20 Hz – 100 Hz	60 Hz – 400 Hz

Die Versuchspersonen wurden gebeten, einzuschätzen, ob die beiden Signale (auditiv und taktil) von einer Quelle stammen können (z.B. Fahrzeugmotor). Vor Beginn des Experimentes wurden den Versuchspersonen fünf Ankerstimuli dargeboten, damit sie sich mit System und Stimuli vertraut machen konnten. Jede experimentelle Sitzung dauerte ungefähr eine halbe Stunde einschließlich der Trainingssitzung. Die Präsentationsreihenfolge der Stimuli wurde randomisiert und jeder Stimulus wurde 10-Mal dargeboten.

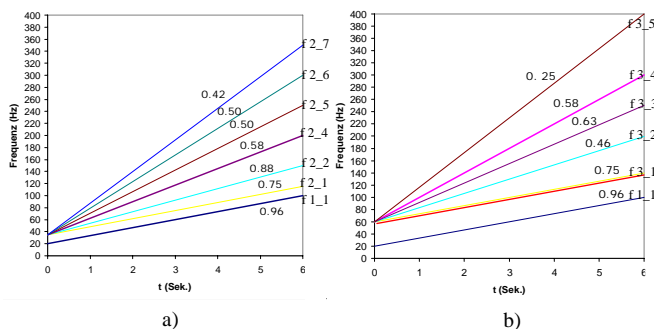
## Ergebnisse

Die prozentuale Darstellungen der Antworten „Ja“ für die Signale, die in dem Experiment Teil 1,2 und 3 dargeboten wurden, werden in Abbildung 3 und 4 gezeigt. Die Tendenz ist gut erkennbar, dass steigender Frequenzabstand zwischen auditiven und taktilen Stimuli eine niedrigere Integrations-Quote verursacht. Besonders zeigen gleiche auditive und taktile Frequenzverläufe (1. Ordnung) oder harmonische

Kombinationen (2. Ordnung, 3. Ordnung) eine hohe Integrations-Quote.



**Abbildung 3:** Die prozentuale Darstellung der Antworten "Ja" als Funktion der Start-Frequenz (oder Motor-Ordnung) - Experiment Teil 1-



**Abbildung 4:** Die prozentuale Darstellung der Antworten "Ja" a) Experiment Teil 2, b) Experiment Teil 3

## Zusammenfassung

- Die Resultate des ersten Experiments zeigen, dass es eine bestimmte Tendenz bei der VP-Beurteilungen gibt. 1., 1.5, und 2. Ordnungen haben eine höhere Integration-Quote (Ja) bekommen als 1.25, 1.75, oder 2.25 Ordnungen.
- Mit zunehmender Ordnung wird die Integration-Quote niedriger.
- Insbesondere ist durchschnittlicher Frequenzabstand zwischen auditiven und taktilen Sweeps entscheidender Faktor bei der multimodalen Integration.

## Literatur

[1] Altinsoy, E.: Auditory-Tactile Interaction in Virtual Environments. Shaker Verlag, Aachen, 2006  
 [2] Altinsoy, E.: The Influence of Frequency on the Integration of Auditory and Tactile Information. Proc. of the 18th Int. Cong. on Acoust., Kyoto, Japan 2004

*Danksagung: Bedanken möchten wir uns bei M. Ferling für ihre Unterstützung bei den Messungen.*