

# Multisensorische Interaktion im Fahrzeug: Audio-Taktile Intensitätswahrnehmung

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

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, TU Dresden

<sup>1</sup> [sebastian.merchel@tu-dresden.de](mailto:sebastian.merchel@tu-dresden.de) <sup>2</sup> [ercan.altinsoy@tu-dresden.de](mailto:ercan.altinsoy@tu-dresden.de)

## Einleitung

Die Interaktion von auditiver und taktiler Wahrnehmung spielt eine wesentliche Rolle z. B. bei der Bewertung von Fahrzeugvibrationen und -geräuschen. Im Automobil treten unter anderem stark gekoppelte sinusförmige Schwingungen und tonale Schalle auf. Ein Beispiel sind die Motorordnungen welche sowohl über den Autositz gespürt, als auch auditiv wahrgenommen werden. Dieser Beitrag diskutiert den Einfluss von Ganzkörperschwingungen auf die Lautheitswahrnehmung. Ebenso wird der Einfluss von akustischen Reizen auf die Intensitätswahrnehmung von Ganzkörperschwingungen untersucht. Dazu werden sinusoidale akustische und vibratorische Stimuli verwendet. Der akustische Stimulus wird diotisch über Kopfhörer wiedergegeben. Für die Reproduktion von Ganzkörperschwingungen kommt ein elektrodynamischer Schwingstuhl zum Einsatz.

Es wurden zwei Experimente durchgeführt. Die Versuchsperson hatte dabei die Aufgabe einen bimodalen Stimulus bezüglich der wahrgenommenen Lautheit oder Vibrationsintensität an einen unimodalen Referenzstimulus anzugleichen. Das erste Experiment zeigt den signifikanten Einfluss von Ganzkörperschwingungen auf die Lautheitswahrnehmung. Ein tieffrequenter akustischer Stimulus wird lauter wahrgenommen, wenn gleichzeitig ein vibratorischer Stimulus mit gleicher Frequenz vorliegt. Einen ähnlichen Effekt zeigt das zweite Experiment für den Einfluss von akustischen Signalen auf die wahrgenommene Vibrationsintensität tieffrequenter Stimuli.

Ein Überblick über Studien zu audiotaktilem Interaktion kann in [1] gefunden werden.

## Versuchsaufbau

Abbildung 1 zeigt die prinzipielle Versuchsanordnung. Über einen Vibrationsstuhl werden vertikale Ganzkörperschwingungen wiedergegeben. Die Beschleunigungssignale an der Sitzoberfläche werden mit einem Vibrationspad (B&K Type 4515B) triaxial aufgezeichnet. Anschließend dienen diese zur personenbezogenen Kalibrierung des elektrodynamischen Shakers [2]. Zusätzlich werden Audiosignale über Kopfhörer reproduziert. Als Eingabegerät für die Versuchsperson wird ein PowerMate verwendet. Dieses Kontrollrad hat keinen Anschlag, keine optischen Markierungen und ist stufenlos regulierbar.

Da der Vibrationssitz bei höheren Frequenzen Schall abstrahlt, ist eine akustische Maskierung der vom Stuhl abgestrahlten Geräusche notwendig. Für diesen Versuch wurde Rosa Rauschen mit einem Pegel von 74 dB(A) gewählt.

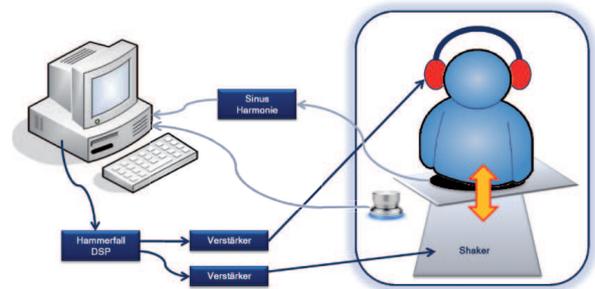


Abbildung 1: Versuchsaufbau.

## Versuchspersonen

An den Experimenten nahmen 20 Probanden im Alter von 19-52 Jahren teil. Ihr Gewicht betrug 58-85 kg. Alle gaben an, nicht an Hör- oder Wirbelsäulenbeschwerden zu leiden.

## Experiment 1 - Lautheitsangleich

In Experiment 1 wird der Einfluss von Vibrationen auf die Lautheitswahrnehmung untersucht. Die Versuchsperson soll die Lautheit eines Referenztons ohne Vibration und eines Testtons mit gleichzeitiger Vibrationswiedergabe vergleichen. Ton und Ganzkörperschwingung haben dabei die gleiche Frequenz. Aus dem Überlappungsbereich von auditiver und taktiler Wahrnehmung werden vier Frequenzen ausgewählt (10, 20, 63 und 200 Hz). Der Vibrationspegel soll gering sein, um eine Beeinflussung des Experiments durch Knochenschall zu vermeiden. Die Detektionsschwelle für Ganzkörperschwingungen unterliegt jedoch starken interindividuellen Schwankungen. Daher wird die Vibrationsamplitude mit je 8 dB über der individuell gemessenen Vibrationsfühlschwelle festgelegt. Der akustische Referenzton soll einen Schalldruckpegel von 10 dB über der Detektionsschwelle in Rosa Rauschen haben.

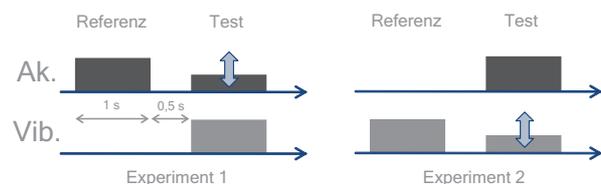
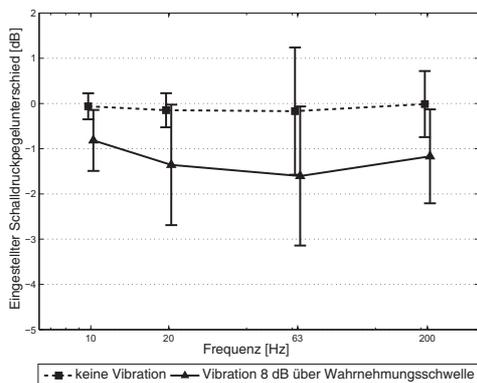


Abbildung 2: Zeitlicher Ablauf für Experiment 1 (Lautheitsangleich) und Experiment 2 (Vibrationsstärkeangleich).

Es werden abwechselnd der Referenzton ohne Vibration und der Testton mit Vibration wiedergegeben (siehe Abbildung 2). Die Versuchsperson kann dabei über das Kontrollrad die Amplitude des Testtones verändern. Nimmt



**Abbildung 3:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Ergebnisse des Lautheitsabgleichs. Dargestellt wird die Differenz zwischen Pegel des Referenztones und eingestelltem Pegel des als gleich laut wahrgenommenen Testtones mit und ohne Vibration.

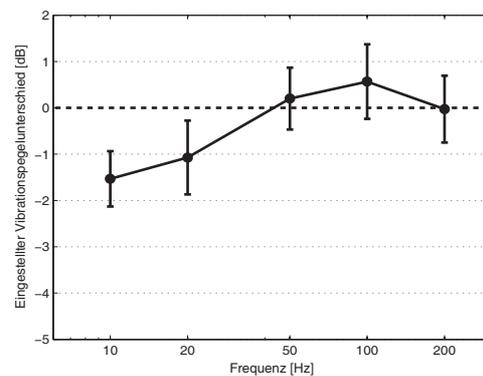
die Versuchsperson beide Töne als gleich laut wahr, wird der Lautheitsabgleich durch Drücken auf das Rad beendet. Die Versuchsperson wird instruiert ausschließlich auf die akustische Lautheit zu achten. Der Lautheitsabgleich wird für jede Frequenz zehnmal wiederholt. Zusätzlich wird ein Referenzfall untersucht, bei dem keine Vibrationen gleichzeitig mit dem Testton wiedergegeben werden.

Abbildung 3 zeigt die Differenz zwischen Pegel des Referenztons und eingestelltem Pegel des Testtones. Wird keine zusätzliche Vibration wiedergegeben so wird ein Pegelunterschied von 0 dB beobachtet. Bei gleichzeitiger Wiedergabe von Vibrationen wird der Testton im Mittel ein Dezibel niedriger eingestellt. Berücksichtigt man das die Isophonen mit abnehmender Frequenz enger werden (z.B. Lautheitsverdopplung bei 20 Hz entspricht 5 dB) so ist der beobachtete Effekt nicht vernachlässigbar.

## Experiment 2 - Vibrationsstärkeangleich

In Experiment 2 wird der Einfluss von Tönen auf die Intensitätswahrnehmung von Ganzkörperschwingungen untersucht. Der verwendete Frequenzbereich wird auf fünf Frequenzen erweitert (10, 20, 50, 100 und 200 Hz). Die wahrgenommene Vibrationsstärke der Referenzvibration soll für alle Frequenzen gleich sein. Entsprechend wird der Beschleunigungspegel in einem Pilotversuch für alle fünf Frequenzen mit drei Probanden ermittelt (100, 105, 108, 114 und 117 dB). Die Lautheit der Töne soll ebenfalls frequenzunabhängig sein. Es werden in einem Pilotversuch mit drei Probanden Töne mit einer Pegellautstärke von ca. 60 phon ausgewählt. Für 10 und 20 Hz erlaubt der Kopfhörer nur einen maximalen Schalldruckpegel von 103 dB.

Das Versuchsdesign entspricht Experiment 1. Allerdings soll die Versuchsperson die Schwingungsstärke einer Testvibration an eine Referenzvibration anpassen. Die Testvibration wird dabei von einem akustischen Ton begleitet. Die Versuchsperson wird instruiert ausschließlich auf die Ganzkörperschwingungsstärke zu achten. Der Abgleich wird pro Frequenz fünf mal wiederholt.



**Abbildung 4:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Ergebnisse des Vibrationsstärkeabgleichs. Dargestellt wird die Differenz zwischen Pegel der Referenzvibration und eingestelltem Pegel der als gleich stark wahrgenommenen Testvibration mit gleichzeitigem Ton.

In Abbildung 4 ist die Differenz zwischen Pegel der Referenzvibration und eingestelltem Pegel der Testvibration dargestellt. Für sehr tiefe Frequenzen tritt eine Absenkung des Beschleunigungspegels bei gleichzeitiger auditiver Stimulation auf. Bei höheren Frequenzen kam es zum Teil zu Vibration von Kleidungsstücken. Die Versuchspersonen berichteten dadurch ein starkes Merkmal für den Vibrationsangleich zu erhalten.

## Diskussion

Die Versuchspersonen sollten in beiden Experimenten *nicht* die wahrgenommene Intensität des Gesamtereignisses beurteilen. Sie wurden explizit aufgefordert sich auf jeweils eine Modalität zu konzentrieren und die andere zu ignorieren. Die beschriebenen Effekte deuten auf eine starke gemeinsame Verarbeitung von auditiven und taktilen Ereignissen hin. Dies muss z.B. beim Design von Fahrzeuggeräuschen und -schwingungen berücksichtigt werden. Ebenso kann dieser Effekt für die Tieffrequenzverzerrung von Car-Audio-System genutzt werden [3].

## Zusammenfassung

Es konnte ein signifikanter Einfluss von Ganzkörperschwingungen auf die Lautheitswahrnehmung und von Sinustönen auf die wahrgenommene Vibrationsstärke nachgewiesen werden.

## Literatur

- [1] Merchel, S., Leppin, A., Altinsoy, E. *The Influence of Whole Body Vibrations on Loudness Perception*, ICSV 16, Kraków, Poland, 2009.
- [2] Altinsoy, M.E., Merchel, S., *BRTF - Body Related Transfer Functions for Whole-Body Vibration Reproduction Systems*, DAGA, Rotterdam, The Netherlands, 2009.
- [3] Simon, G., Olive, S. E., Welti, T., *The Effect of Whole-body Vibrations on Preferred Bass Equalization of Automotive Audio Systems*, AES 127, New York, USA, 2009.