

# Der Einfluss von Vibrationen auf den bevorzugten Basspegel bei der Musikdarbietung

Sebastian Merchel, André Caspari, M. Ercan Altinsoy

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, TU Dresden, Deutschland, Email: sebastian.merchel@tu-dresden.de

## Einleitung

In Diskotheken, auf Konzerten oder im Kraftfahrzeug wird Musik oft mit hohem Pegel wiedergegeben. Dabei regt der Schall nicht nur die Haarzellen des Innenohres, sondern auch die Körperoberfläche zum Schwingen an. Sogar während eines klassischen Sinfoniekonzertes im Konzertsaal können überschwellige Vibrationen nachgewiesen werden [1]. In vorangegangenen Studien konnte gezeigt werden, dass Vibrationen für die Qualität des Konzerterlebnisses von Bedeutung sind [2, 3, 4]. In einem weiteren Experiment wurde nachgewiesen, dass Vibrationen die wahrgenommene Lautheit tieffrequenter Töne beeinflussen [5, 6]. Ein Ton wurde dabei als lauter empfunden, bei zeitgleicher Darbietung von Schwingungen über einen Sitz. Die Vermutung liegt nahe, dass Vibrationen auch die Wahrnehmung der Bassintensität in einem Musikwiedergabesystem verändern. Dieser Beitrag untersucht daher den Einfluss von Ganzkörperschwingungen auf den bevorzugten Basspegel für Musik. Es stellt sich die Frage, ob durch zusätzliche Vibrationswiedergabe, beispielsweise in einer Diskothek, der Schalldruckpegel reduziert werden kann um so Hörschäden zu vermeiden.

## Setup

In dieser Studie wurden Surround Aufnahmen über ein konventionelles 5.1 Lautsprecher-setup nach ITU-R BS.775-1 [7] wiedergegeben. Der Frequenzgang des Audiosystems bestehend aus fünf Genelec 8040A Lautsprechern und einem 7060B Subwoofer wurde im Wiedergaberaum gemessen und auf die Hörerposition entzerrt. Zusätzlich wurden mit Hilfe eines angepassten Schwingstuhles (elektrodynamischer Erreger basierend auf Shaker RFT Messtechnik Type 11076) vertikale Vibrationen erzeugt. Die Höhe des Stuhles wurde angepasst, so dass die Oberschenkel der Probanden auf der Sitzoberfläche (46 cm x 46 cm) auflagen und beide Füße flach auf dem Boden standen. Die Übertragungsfunktion eines solchen Vibrationsstuhles hängt dabei stark von der Versuchsperson ab. Sie wird körperbezogene Übertragungsfunktion oder body-related transfer function (BRTF) genannt [8]. Die BRTF wurde im Folgenden für jede Versuchsperson individuell gemessen und mittels inverser Filter in Matlab kompensiert. Die Messung erfolgte mit Hilfe eines Sitzkissens mit Beschleunigungsaufnehmern (B&K Type 4515B) und der Messkarte Sinus Harmonie Quadro.

## Versuchspersonen

An diesem Experiment nahmen 20 Versuchspersonen teil (16 männlich und 4 weiblich). Das Alter der Probanden lag zwischen 19 und 49 Jahren (Mittelwert 25 Jahre) und 50 und 115 kg (Mittelwert 73 kg). Alle gaben an keine bekannten Gehör- oder Rückenschäden zu haben. Die meisten Versuchspersonen hatten noch nie an einem Hörversuch teilgenommen. Sie können als Laien ohne Vorwissen in Bezug auf Audiobeurteilung oder Tonmischung angesehen werden.

## Stimuli und Versuchsdesign

Vier Konzertmischungen wurden ausgewählt welche sowohl klassische als auch moderne Musik repräsentieren. Die Stimuluslänge wurde mit 1.5 Minuten relativ lang gewählt, um sicherzustellen dass die Versuchspersonen genug Zeit zur Verfügung hatten um mit der Sequenz vertraut zu werden. Die folgenden Sequenzen wurden ausgewählt:

- Bach, Toccata in d-Moll (*Orgel*)
- Verdi, Messa Da Requiem, Dies Irae (*Pauke, Kontrabass*)
- Dvořák, Slawischer Tanz Nr. 2 in e-Moll, op. 72 (*Kontrabass*)
- Blue Man Group (BMG), The Complex, Sing Along (*E-Bass, Trommeln*)

Für eine ausführlichere Beschreibung der gewählten Musikstücke soll auf [4] verwiesen werden. Die Wiedergabe erfolgte über das oben beschriebene Lautsprecher-setup. Die Lautheit der Stücke wurde in einem Pilotversuch mit drei Versuchspersonen angeglichen. Der resultierende äquivalente Dauerschalldruckpegel betrug beispielsweise 75 dB für die BACH Sequenz. Zusätzlich wurden Vibrationen aus dem Audiosignal erzeugt. Dazu wurde die Monosumme aller Audiokanäle bei 100 Hz tiefpassgefiltert (Butterworth, 10. Ordnung) und anschließend über den Vibrationsstuhles wiedergegeben.

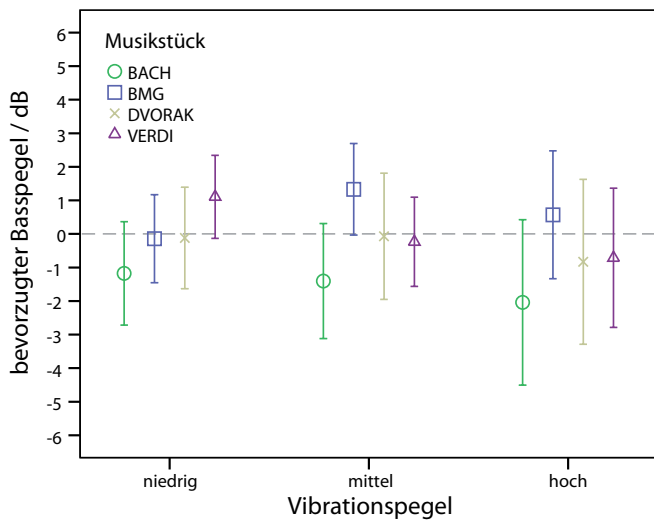
Zusätzlich wurde das so gewonnene Basssignal über einen Subwoofer wiedergegeben. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, die Intensität des akustischen Basspegels auf den von ihr bevorzugten Wert einzustellen. Dazu kam ein Drehknopf ohne Anschlag und sichtbare Markierungen zum Einsatz. Die Bassintensität konnte in 1 dB Schritten über einen Bereich von 25 dB eingestellt werden. Der Basspegel variierte zu Beginn jeder Sequenz zufällig über den kompletten Dynamikbereich.

Die Versuchspersonen sollten die Bassanpassung für drei verschiedene Vibrationspegel durchführen. Zusätzlich wurde eine Referenzvariante ohne Vibrationen untersucht. Um sicherzustellen, dass die Vibrationen für jeden Versuchsteilnehmer etwa die gleich Vibrationsintensität hatten, wurden sie auf die individuelle Wahrnehmungsschwelle bezogen. Diese wurde bei 25 Hz und 50 Hz für jeden Probanden gemessen. Da die Fühlschwelle (dargestellt als Beschleunigungspegel) für vertikale Sitzschwingungen unter 100 Hz relativ flach verläuft [9] wurden diese beiden Schwellwerte anschließend gemittelt. Daraus ergaben sich drei auf die individuelle Schwelle bezogene Vibrationspegel: niedrig (0 dB), mittel (6 dB) und hoch (12 dB). Der niedrige Pegel war gerade wahrnehmbar. Der RMS-Beschleunigungspegel einer Musiksequenz entsprach dabei der Wahrnehmungsschwelle. Betrachtet man allerdings den Spitzenwert des Beschleunigungspegels, so lag dieser in Abhängigkeit des Musikstücks 4 dB bis 10 dB über der Schwelle.

Um die Verlässlichkeit der Probandenurteile zu prüfen, wurde jede Sequenz zweimal bewertet. Daraus ergab sich eine Gesamtzahl von 32 Stimuli (vier Musikstücke x vier Vibrationspegel x zwei Wiederholungen). Um Unzufriedenheit vorzubeugen, durften die Probanden den aktuellen Stimulus abbrechen sobald sie mit ihrer PegelEinstellung fertig waren. Vor Beginn des Experiments wurden der Ablauf trainiert und alle Musikstücke vorgestellt. Die Gesamtdauer eines Versuchs variierte zwischen den Versuchspersonen und betrug bis zu 1,5 Stunden. Alle Stimuli wurden individuell randomisiert dargeboten.

## Ergebnisse und Diskussion

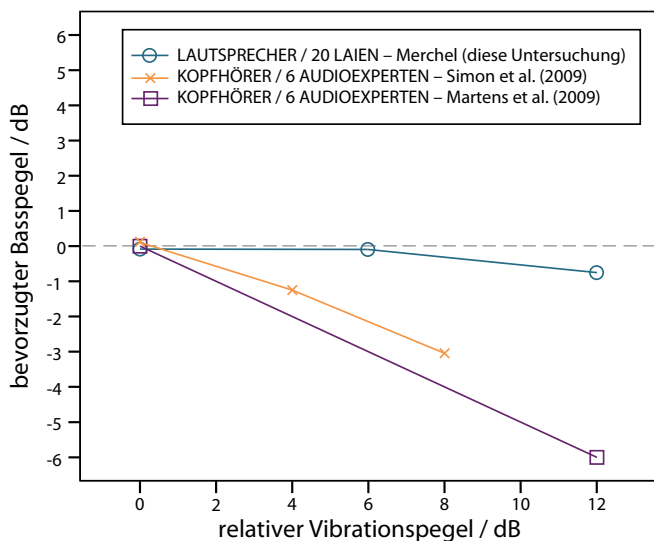
In Abbildung 1 ist der mittlere bevorzugte Basspegel für verschiedene Vibrationspegel dargestellt. Der Basspegel wird dabei relativ zum individuell bevorzugten Basspegel bei Wiedergabe ohne Vibrationen abgetragen. Es ist erkennbar, dass die Vibrationen keinen systematischen Einfluss auf den bevorzugten Basspegel hatten. Dieses Ergebnis wurde mit Hilfe einer Varianzanalyse mit Messwiederholungen statistisch bestätigt. Es fielen ebenfalls keine Versuchspersonengruppen mit systematisch unterschiedlichem Urteil auf. Die Standardabweichung für die wiederholte Beurteilung desselben Stimulus lag bei etwa 4 dB. Dies spricht für relativ verlässliche Probandenurteile, wenn man bedenkt das die Wiederholungen zufällig über die gesamte Versuchsdauer verteilt waren. Interessanterweise berichteten viele Probanden im Anschluss an das Experiment, dass sie den Bass bei Anwesenheit von Vibrationen deutlich intensiver wahrgenommen hatten. Dieser Hinweis unterstützt die These einer erhöhten Basslautheit durch zusätzliche Vibrationen. Allerdings könnte der intensivere Bass den Erwartungen entsprechen, welche durch spürbare Vibrationen geweckt werden. Diese Theo-



**Abbildung 1:** Mittlerer bevorzugter Basspegel mit 95 % Konfidenzintervallen für verschiedene Vibrationspegel. Der Basspegel wird relativ zum individuell bevorzugten Basspegel bei Wiedergabe ohne Vibrationen dargestellt.

rie würde die gleichbleibende Basspegelpräferenz in Abbildung 1 erklären.

Im Gegensatz zur vorliegenden Studie wurde in zwei anderen Untersuchungen über eine Veränderung des bevorzugten Basspegels im Zusammenhang mit Vibrationswiedergabe berichtet. Die Ergebnisse von Simon et al. [10] und Martens et al. [11] sind zum Vergleich in Abbildung 2 dargestellt. In beiden Studien wurde das selbe PKW-Audio-System über Kopfhörer binaural auralisiert. Zusätzlich wurden Vibrationen über einen Tiefpass aus dem Audiosignal gewonnen. Martens et al. [11] erzeugt Vibration mit Hilfe einer Plattform auf der ein Fahrzeugsitz montiert war. Eine adaptive up-down Methode kam zur Einstellung des Basspegels zum Einsatz. Aus vier Musiksequenzen wurde jeweils ein kurzer Ausschnitt dargeboten. Simon et al. [10] erzeugte Vibrationen mit Hilfe eines elektro-dynamischen Wandlers unter einem Autositz. Seine Versuchsmethode ähnelte der hier beschriebenen Vorgehensweise. Er wählte zwei sich wiederholende Sequenzen mit einer Länge von 20-30 s. An den Studien nahmen ausschließlich trainierte Hörer mit Erfahrung im Bereich Audiobeurteilung teil.



**Abbildung 2:** Vergleich des bevorzugten Basspegels bei synchroner Vibrationswiedergabe aus mehreren Studien [10, 11]. Der Vibrationspegel wird relativ zur Wahrnehmungsschwelle abgetragen.

Die Ergebnisse beider Untersuchungen zeigen einen Abfall des bevorzugten Basspegels von etwa 1,5-2 dB für eine Vibrationspegelzunahme von 4 dB. Die Unterschiede zu den aktuellen Ergebnissen können nicht endgültig erklärt werden. In der vorliegenden Arbeit wurden hauptsächlich klassische Musikstücke untersucht, wohingegen die anderen Studien sich auf modernere Musikgenre konzentrierten. Allerdings wurde in dieser Studie kein signifikanter Unterschied zwischen Musikgenres festgestellt. Darüber hinaus könnte die Anzahl und Auswahl der Versuchspersonen eine entscheidende Rolle spielen. Das Urteil von Audioexperten kann sich deutlich von dem eines Laien unterscheiden. Zusätzlich könnte die Wiedergabe über Kopfhörer das Ergebnis beeinflussen. Der 'missing 6 dB' Effekt für Kopfhörer, welcher auch in Bezug auf die fehlende Anregung der Körperoberfläche diskutiert wurde [12], könnte durch die zusätzliche Wiedergabe von Vibrationen ausgeglichen worden sein. Martens et al. berichtet das die schweltnahe Vibrationswiedergabe die Ähnlichkeit zwischen binauraler Wiedergabe und dem tatsächlichen Erleben im Fahrzeug verbesserte. Er berichtet allerdings auch, dass die Audioexperten hohe Vibrationspegel möglicherweise als unangenehm wahrnahmen und daher den Basspegel absenkten, vielleicht in der falschen Hoffnung dadurch auch die Vibrationsintensität zu verringern. Auf Grund der widersprüchlichen Ergebnisse, lässt sich noch keine abschließendes Urteil fällen. Weitere Experimente sind nötig, in denen die genannten Einflussfaktoren unabhängig voneinander kontrolliert werden.

## Literatur

- [1] S. Merchel and M. E. Altinsoy, "Music-induced vibrations in a concert hall and a church", *Archives of Acoustics* **38**, 13–18 (2013).
- [2] S. Merchel and M. E. Altinsoy, "5.1 oder 5.2 Surround - Ist Surround taktil erweiterbar?", in *Proceedings of DAGA 2008 - 34th German Annual Conference on Acoustics* (Dresden, Germany) (2008).
- [3] S. Merchel and M. E. Altinsoy, "Vibratory and acoustical factors in multimodal reproduction of concert DVDs", in *Haptic and Audio Interaction Design* (Springer, Berlin, Germany) (2009).
- [4] S. Merchel and M. E. Altinsoy, "Vibration in Music Perception", in *Proceedings of Audio Eng. Society 134th Conv.* (Rome, Italy) (2013).
- [5] S. Merchel, M. E. Altinsoy, and A. Leppin, "Multisensorische Interaktion im Fahrzeug : Audio-Taktile Intensitätswahrnehmung", in *Proceedings of DAGA 2010* (Berlin, Germany) (2010).
- [6] S. Merchel, A. Schwendicke, and M. E. Altinsoy, "Feeling the sound: audio-tactile intensity perception", in *Proceedings of 2nd Polish-German Structured Conference on Acoustics, The 58th Open Seminar on Acoustics* (Jurata, Poland) (2011).
- [7] ITU-R BS.775-1, "Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture", International Telecommunication Union (1992).
- [8] M. E. Altinsoy and S. Merchel, "BRTF - body related transfer functions for whole-body vibration reproduction systems", in *Proceedings of NAG/DAGA* (Rotterdam, The Netherlands) (2009).
- [9] M. Morioka and M. Griffin, "Absolute thresholds for the perception of fore-and-aft, lateral, and vertical vibration at the hand, the seat, and the foot", *J. Sound and Vib.* **314**, 357–370 (2008).
- [10] G. Simon, S. Olive, and T. Welti, "The effect of whole-body vibrations on preferred bass equalization of automotive audio systems", in *Proceedings of Audio Eng. Society 127th Conv.* (New York, USA) (2009).
- [11] W. L. Martens, H. Sakanashi, and W. Woszczyk, "Whole-body vibration associated with low-frequency audio reproduction influences preferred equalization", in *Proceedings of Audio Eng. Society 36th Int. Conf.* (Dearborn, USA) (2009).
- [12] W. Rudmose, "The case of the missing 6 dB", *J. Acoust. Soc. Am.* **71**, 650–659 (1982).