Modulationsschwellen von Ganzkörperschwingungen im Vergleich zur auditiven Wahrnehmung

M. Ercan Altinsoy

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, TU Dresden, 01062, Dresden,
E-Mail: ercan.altinsoy@tu-dresden.de

Einleitung

Der Mensch ist im Alltag vielfältigen Ganzkörperschwingungen ausgesetzt, die vorwiegend in Fahrzeugen, Flugzeugen, Schiffen und musikalischen Vorstellungen (Konzertsaal) auftreten. Die zeitlichen und spektralen Strukturen der Schwingungssignale spielen eine wichtige Rolle für die Beurteilung von Ganzkörperschwingungen. Dazu gehört an erster Stelle die Wahrnehmung der Intensität (Vibrationsstärke). Darüber hinaus gehören dazu die Taktilwahrnehmungen, welche sich aus mehr oder minder regelmäßigen und andauernden Signalmodulationen ergeben.

In dieser Arbeit wurden die Modulationsschwellen von vertikalen Ganzkörperschwingungen beim sitzenden Menschen untersucht. In mehreren Sitzungen (psychophysikalische Versuche) nach dem 3AFC-Verfahren wurden Schwellwerte für sinusförmige Amplitudenmodulationen von Sinustönen (von 20 Hz bis zur 100 Hz) ermittelt.

In diesem Beitrag werden diese neuen Erkenntnisse aus dem Ganzkörperschwingungsbereich vorgestellt und mit den Erkenntnissen aus der auditiven Wahrnehmung verglichen.

Ganzkörperschwingungen - Modulation

In unserer vorherigen Studie wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt, um die grundlegende Merkmale für Ganzkörperschwingungen zu bestimmen [1]. Die Ergebnisse der Studie haben gezeigt, dass verschiedene Frequenzbereiche mit verschiedenen Wahrnehmungs-merkmalen beschrieben werden. Tiefe Frequenzen wurden mit dem Adjektiv „holprig“ charakterisiert, mittlere Frequenzen mit dem Adjektiv „zittrig“ und hohe Frequenzen mit „summend“. In der Studie konnte man auch feststellen, dass die amplitudenmodulierten Signale abhängig von Träger- und Modulationsfrequenz unterschiedliche Wahrnehmungen hervorrufen können.

Wenn man die Ganzkörperschwingungsaufnahmen bei Fahrzeugen (Auto und Zug) oder musikalischen Konzertvorstellungen analysiert, stellt man sehr oft fest, dass Modulationen vorhanden sind [2,3,4]. Gleichzeitig spielen die Modulationswahrnehmungen und –schwellen bei der Beschreibung der Eigenschaften der menschlichen taktilen Wahrnehmung bezüglich der Ganz-Körper-Schwingungen eine wichtige Rolle genauso wie auditive Wahrnehmung.

In dieser Arbeit wurden die Modulationsschwellen von Ganzkörperschwingungen gemessen. Die Modulations-schwelle wird als die Absolutschwelle für den Modulationsgrad einer modulierten Schwingung definiert [2]. Als Signalform wurde die sinusförmige Amplituden-modulation eines Sinustones ausgewählt.

Experimente

6 nicht schwingungswahrnehmungsvorgebildete Ver-suchspersonen (4 Männer und 2 Frauen) nahmen an diesem Experiment teil. Sie waren zwischen 21 und 55 Jahren alt (Mittelwert: 36 Jahre). Ihr Gewicht betrug 62 – 86 kg (Mittelwert: 76 kg) Alle gaben an, nicht an Wirbelsäulenbeschwerden zu leiden. 3 VP fahren täglich Auto, 3 VP fahren fast täglich Straßenbahn und gelegentlich Auto.

Es wird der gleiche Versuchsaufbau wie bei [1] verwendet. Die Ganzkörperschwingungssignale wurden durch einen elektrodynamischen Schwingungserreger in der vertikalen Richtung erzeugt (z-Achse). Ein starrer hölzerner Sitz ohne Rückenlehne wurde auf dem Schwingungserreger montiert. Die BRTF (Body Related Transfer Function)s der VPs in vertikaler Richtung wurden ermittelt und mit Hilfe inverser Filter in MATLAB kompensiert. 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.

Tabelle 1: Die Liste der Stimuli

Trägerfrequenz	**Modulationsfrequenz**
30 Hz	2 Hz
	5 Hz
	10 Hz
60 Hz	5 Hz
	10 Hz
	15 Hz
90 Hz	15 Hz
	30 Hz

Die Untersuchungen wurden bei drei Trägerfrequenzen 30 Hz, 60 Hz und 90 Hz vorgenommen. Die Modulationsfrequenzen wurden in der Tabelle 1 angegeben. Der Beschleunigungspegel der unmodulierten Signale betrug 110 dB. Der Pegel von modulierten Signalen wird auf der Basis von wahrgenommener Intensität (durch Vorversuch ermittelt) ausgeglichen. Weil geringe Darbietungszeiten

besonders bei niedrigeren Modulationsfrequenzen eine Schwellenanhebung verursachen können, betrug die Stimuluslänge 5 Sekunden.

Die Schwellen wurden mit einem 3 AFC-Verfahren ermittelt. Für das Einpendeln des Modulationsgrads auf einen bestimmten Schwellenwert wurde die 1-up, 2-down Regel benutzt. Die Schrittweite für die Pegeländerung der Modulationsgrade waren am Anfang 4 dB und am Ende 1 dB. Die Pause zwischen den Intervallen betrug immer 500 ms. Die Messungen wurden für jede Versuchsperson viermal wiederholt.

Ergebnisse und Diskussion

Der Schwellen-Modulationsgrad m für die sinusförmige Amplitudenmodulation eines 30 Hz-Tones, als Funktion der Modulationsfrequenz ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Schwelle liegt im Bereich von 0.1 bis 0.3 und steigt mit zunehmender Modulationsfrequenz. Der Unterschied zwischen den Modulationsfrequenzen 2 und 10 Hz ist statistisch signifikant. In der Abbildung 2 sind die Schwellen von 6 Versuchspersonen dargestellt. Die Anstiegstendenz ist bei fast alle Versuchspersonen zu erkennen (Abbildung 2). Auditive Modulationsschwellen-Messungen zeigen ähnliche Tendenzen [4,5].

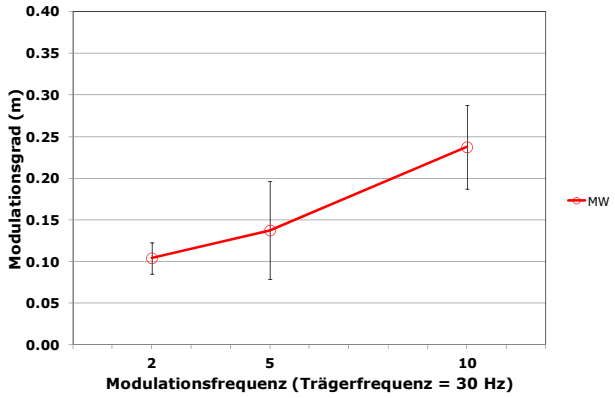

Abbildung 1: Die Schwellen-Modulationsgrad eines 30 Hz-Tones als Funktion der Modulationsfrequenz.

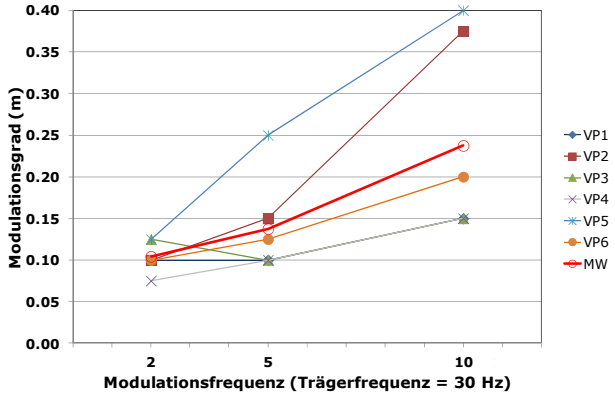

Abbildung 2: Die Schwellen-Modulationsgrad eines 30 Hz-Tones von 6 Versuchspersonen.

Der Schwellen-Modulationsgrad m für die sinusförmige Amplitudenmodulation eines 60 Hz-Tones, als Funktion der Modulationsfrequenz ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Schwelle liegt wieder im Bereich von 0.1 bis 0.3 und steigt mit zunehmender Modulationsfrequenz.

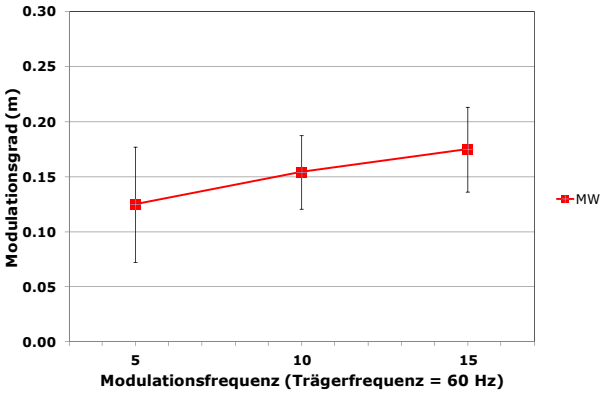

Abbildung 3: Die Schwellen-Modulationsgrad eines 60 Hz-Tones als Funktion der Modulationsfrequenz.

Ein ähnlicher Verlauf ist auch für die Trägerfrequenz für 90 Hz zu erkennen. Der Anstieg der Schwelle mit zunehmender Modulationsfrequenz zeigt uns: Um wahrnehmbar zu werden, müssen Amplitudenschwankungen umso ausgeprägter sein je rascher sie erfolgen. Dieses Ergebnis zeigt eine große Ähnlichkeit mit der auditiven Wahrnehmung [4]. Die im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten bilden einen Startpunkt. Folgestudien mit mehr Modulationsfrequenzvariationen und Pegelvariationen sind geplant.

Literatur

[1] Altinsoy, M.E.: Wahrnehmungsmerkmale von Ganzkörperschwingungen". Fortschritte der Akustik. DAGA 2010. Berlin. 2010.

[2] Altinsoy, M.E. und Merchel, S.: Einfluss der zeitlichen Frequenzveränderung auf die audio-taktile Integration im Fahrzeug. Fortschritte der Akustik DAGA 2008, Dresden, 2008.

[3] Altinsoy, M.E.: Audiotaktile Interaktion bei der Sportlichkeitswahrnehmung des Fahrzeugs. Fortschritte der Akustik DAGA 2012, Darmstadt, 2012.

[3] Merchel, S. und Altinsoy, M.E.: Vibratory and Acoustical Factors in Multimodal Reproduction of Concert DVDs. in Altinsoy, M. E., Jekosch, U. & Brewster, S. (Eds.), Haptic and Audio Interaction Design 2009, LNCS 5763, pp. 119-127. Berlin, Germany: Springer, 2009.

[4] Terhardt, E.: Akustische Kommunikation, Springer, Berlin/Heidelberg, 1998.

[5] Dau, T., Kollmeier, D. und Kohlrausch, A.: Modeling auditory processing of amplitude modulation: I. Detection and masking with narrowband carriers. J. Acoust. Soc. Am. 102, 2892–2905, 1997.