

Spüren Sie den Unterschied?

Zeitliche Maskierung für vertikale Ganzkörperschwingungen

Anna Schwendicke, Jing Dou, M. Ercan Altinsoy

Lehrstuhl für Akustik und Haptik, TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, Email: anna.schwendicke@tu-dresden.de

Einleitung

Im täglichen Leben sind wir Ganzkörperschwingungen in vielfältiger Form, Frequenz und Intensität ausgesetzt. Der wesentliche Teil wird dabei von mechanischen Geräten erzeugt, wie zum Beispiel in Fahrzeugen.

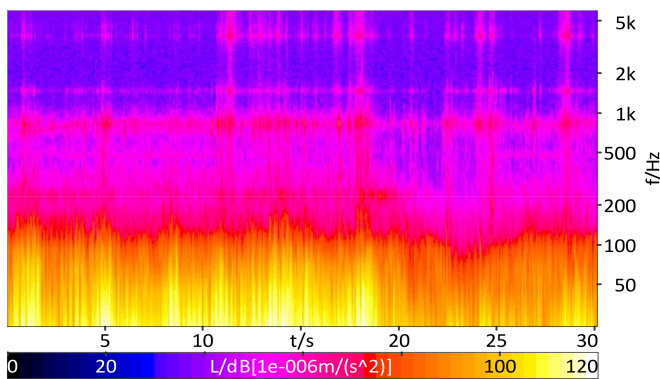


Abbildung 1: Beschleunigungsaufnahmen in einem Fahrzeug mit Beschleunigungsaufnehmer zwischen Fahrer und Sitzfläche (Konstantfahrt über eine Fahrt mit Straßenschäden).

Abbildung 1 zeigt beispielhaft ein Konstantfahrt über eine Straße mit Straßenschäden. Deutlich erkennbar ist, dass auch bei einer Konstantfahrt die aufgezeichnete Beschleunigung nicht quasistationär ist, sondern die Unebenheiten im zeitlichen Verlauf deutlich sichtbar sind.

Durch die große Gesamtbelastung durch Ganzkörperschwingungen spielt die Verbesserung des Komforts für die Benutzer eine zunehmend wichtige Rolle, meist soll der Einfluss der Schwingungen verringert werden. Neben den fundamentalen Signaleigenschaften, wie zum Beispiel Frequenz, Signalart und Intensität, spielt die Maskierung eine wesentliche Rolle für das Empfinden von Schwingungen und beeinflusst entsprechend das Komfortempfinden. In anderen Situationen, zum Beispiel im Entertainment, sind jedoch zusätzliche Vibrationen gewünscht und Maskierungseffekten können die Basis von Komprimierungsalgorithmen, vergleichbar zu mp3, sein.

Bei der zeitlichen Maskierung verdeckt ein starkes Signal (Maskierer) schwächere Signale (Target) die zeitlich davor oder danach sind. Es wird dabei unterschieden zwischen Nachmaskierung (das Target befindet sich hinter dem Maskierer) und Vormaskierung (das Target befindet sich vor dem Maskierer). Nach unserem Kenntnisstand wurde zeitliche Maskierung von Ganzkörperschwingungen bisher nicht untersucht, es gibt jedoch Studien zu vibrotaktiler zeitlicher Maskierung. Dabei beeinflusst eine Reihe

von Einflussfaktoren den Effekt der Maskierung. Neben dem Anregungsort [1, 2], wie beispielsweise Handballen oder Fingerkuppe, und der Größe der Kontaktfläche sind einige weitere Einflussfaktoren die gewählten Frequenzen [3, 4] von Maskierer und Target sowie ihre Verhältnis zueinander, die Signaldauer von Maskierer [4] und Target [5] sowie der Pegel des Maskierers [4].

Im auditiven Bereich ist der Effekt der Vorverdeckung, wesentlich geringer als der der Nachverdeckung. Während erstere stark abhängig vom Training der Probanden ist und nur für Zeiten bis etwa 20 ms einen Verdeckungseffekt erzeugt, hält letztere ca. 100 bis 200 ms an, bevor der Effekt der Verdeckung komplett nachlässt [6, 7]. Im taktilen Bereich ist das Verhältnis von Vor- und Nachverdeckung auch von der Aufgabenstellung abhängig. Mustererkennung und Signalerkennung scheinen sich in ihren kognitiven Forderungen zu unterscheiden [8]. Während bei der Mustererkennung insbesondere für kurze Zeitintervalle Vorverdeckung stärker als Nachverdeckung ist, ist für längere Zeitintervalle die Nachverdeckung stärker als Vorverdeckung. [9]. Bei der reinen Signalerkennung ist der die Nachverdeckung stärker oder gleich stark wie die Vorverdeckung in Abhängigkeit von der genutzten Frequenz [3].

In dieser Studie liegt der Fokus auf der Nachverdeckung. Es wird mit einem Probandenkollektiv von 20 Probanden für 40 Hz mit acht verschiedenen *inter stimulus intervals* (ISI) von 20 ms bis 520 ms zwischen Maskierer und Target der Effekt der zeitlichen Maskierung von Ganzkörperschwingungen untersucht.

Versuchsaufbau

In einem Vorversuch wird für jeden Probanden individuell die Fehlschwelle für 40 Hz bei einer Stimuluslänge von 1000 ms ermittelt. Im Bereich zwischen 20 Hz und 63 können die inter-individuellen Fehlschwellendifferenzen bis zu 15 dB betragen [10]. Diese individuelle Fehlschwelle dient als Basis für die Pegel im Hauptversuch um eine annähernd gleich stark empfundene Maskierung für alle Versuchspersonen zu gewährleisten. Danach erfolgt der Hauptversuch zur zeitlichen Maskierung. Für alle Versuchsteile wird eine 3AFC adaptives 1up-2down Verfahren eingesetzt.

Experimentelles Setup

Die Versuche werden mit einem eigens für Ganzkörperschwingungsexperimente konstruierten Schwingstuhl gemessen. Dieser besteht aus einem elektrodynamischen Shaker auf dem eine feste, ebene

Sitzplatte von 460 x 460 mm montiert ist. Durch Federn ist diese Platte auf dem Shakergehäuse gestützt und hält so bei Belastung der Platte durch die Versuchspersonen den Kolben des Shakers näherungsweise im Arbeitspunkt. Eine Rückenlehne existiert nicht. Für die Dauer des Versuchs werden die Versuchspersonen gebeten gerade auf der Platte zu sitzen, die Beine 90 Grad angewinkelt, sodass die Oberschenkel parallel zur Platte und die Füße fest auf dem Boden sind. Bei einem Höhenunterschied zwischen Füßen und Boden wird dieser durch zusätzliche Platten auf dem Boden ausgeglichen.

Die Versuchssteuerung erfolgt mit einem Computer über Matlab und auf die Hardware angepasste Skripte [11]. Die interne Soundkarte wird sowohl zum Abspielen der Stimuli als auch zum Aufnehmen der am Shaker gemessenen Vibrationen genutzt. Dazu wird die Zweikanalausgabe getrennt in ein Vibrations- und Audiosignal. Das Vibrationssignal wird durch einen externen Verstärker (DIORA Stereo WS 504) verstärkt auf den Shaker gegeben. Das Audiosignal wird genutzt um für die Dauer der Stimuli ein maskierendes Rosa Rauschen über geschlossene Kopfhörer (Sennheiser eH2200) abzuspielen und so eventuelles akustische Abstrahlen der Signale vom Shaker zu maskieren.

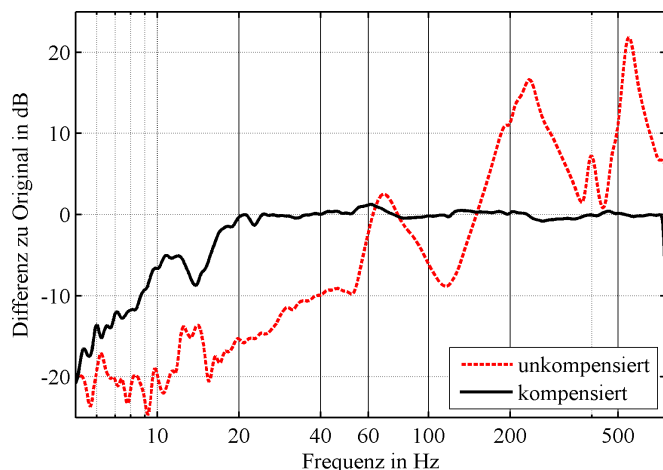


Abbildung 2: Spektrale Differenz zwischen unkompensiertem bzw. kompensiertem Signal und Originalsignal für eine Versuchsperson (1/12 Oktavglättung)

Für ein pegelrichtiges Abspielen der Signale ist für jede Versuchsperson individuell eine Kalibrierung des Aufbaus nötig. Die Übertragungsfunktion des Wiedergabesystems, auch bekannt als Body-Related-Transfer-Funktion (BRTF) [12], besitzt keinen linearen Frequenzgang und muss entsprechend für jede Versuchsperson vor dem Versuch ermittelt werden. Die Messung des Signals am Shaker erfolgt mit einem fest mit dem Kolben verbundenen Beschleunigungssensor (Kistler 8636C10) dessen Daten über einen Koppler (Kistler VibraPower 5110) und die Soundkarte direkt in Matlab eingelesen werden können. Während des Versuchs werden die Signale entsprechend der BRTF invers gefiltert abgespielt. Das Ergebnis dieser Kompensation ist in Abbildung 2 dargestellt.

Stimuli

Die zeitliche Maskierung wird für 40 Hz für acht verschiedenen Zeitintervalle (20, 40, 60, 100, 180, 340 und 520 ms) zwischen Maskierer und Target gemessen. Abbildung 3 zeigt den prinzipiellen Ablauf eines Trials des 3AFC Experimentes. Der Maskierer hat eine Dauer von einer Sekunde und einen Pegel von 15 dB SL. Das Target hat eine Dauer von 200 ms. Die einzelnen Stimuli, bestehend aus Maskierer, ISI und Target, sind durch eine Pause von 500 ms getrennt. Zusätzlich zu den taktilen Signalen, erleichtert das gleichzeitig dargebotene Rosa Rauschen sowie zeitlich synchronisiert aufblinkende Buttons der Benutzeroberfläche den Probanden das Unterscheiden der einzelnen Stimuli.

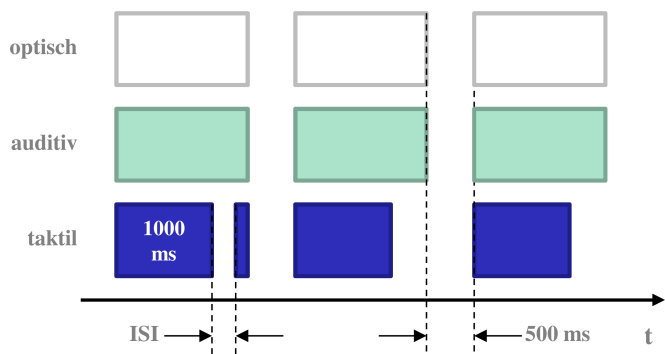


Abbildung 3: Zeitlicher Ablauf eines Trials des 3AFC Maskierungsexperimentes.

Probanden

Von den 20 Probanden sind 13 weiblich, 7 männlich. Sie haben einen Altersdurchschnitt von 26,6 Jahren (25-33 Jahre) und keine Erfahrung mit Experimenten zur zeitlichen Maskierung von Ganzkörperschwingungen. Alle Probanden nahmen freiwillig an der Studie teil.

Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Maskierung über die unterschiedlichen ISI. Dargestellt ist die Differenz zwischen der Fehlschwelle für das Target in Anwesenheit eines Maskierers zur im Vorversuch gemessenen Fehlschwelle über dem Zeitintervall zwischen Maskierer und Target. Wie zu erwarten, sinkt mit größer werdenden ISI die Maskierung. Bis zu 40 ms ist eine deutliche Maskierung von ungefähr 13 dB zu erkennen, die dann bis ca. 340 ms abfällt. Aber auch für 340 ms und 520 ms verschwindet der Maskierungseffekt nicht vollständig, sondern bleibt bei ca. 7 dB. Die Standardabweichung bleibt über den gesamten untersuchten Zeitbereich konstant bei ungefähr 2,5 dB. Wie auch in der Frequenzmaskierung [13] sind auch hier die Flanken der Maskierungskurven wesentlich weniger steil als vergleichbarer Kurven aus auditiven Versuchen. Die Maskierung erfolgt insgesamt über einen sehr langen Bereich. Ein paarweiser T-Test zwischen den jeweils benachbarten ISI zeigt signifikante Unterschiede zwischen allen Paaren außer 20/40 ms und 340/520 ms ($p < 0,05$). Dass die Maskierung nicht komplett auf 0 dB abfällt, lässt sich zum Teil

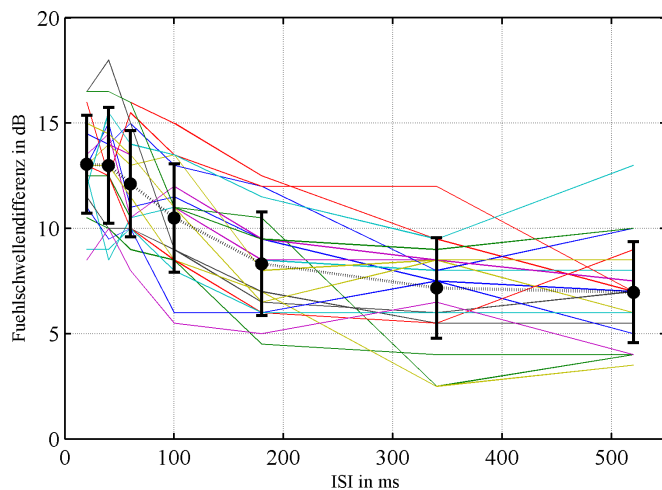


Abbildung 4: Individuelle Ergebnisse der Versuchspersonen sowie Mittelwert und Standardabweichung der zeitliche Maskierung.

durch das im Vergleich zum Maskierer kürzere Target erklären. Erst ab Signaldauern von ca. 1000 ms bleibt die Fühlschwelle konstant [14]. So nehmen Versuchspersonen eine 160 ms lange sinusoidale Vibrationen erst bei einem 2 dB erhöhten Pegel gleich laut wahr wie die 1000 ms lange Referenz mit 30 dB SL [15].

Zusammenfassung und Ausblick

Im Vergleich zu auditiven Maskierungskurven verläuft die hier gemessene Maskierungskurve für Ganzkörperschwingungen flacher und über ein größeres Zeitintervall. Über den gesamten untersuchten Zeitbereich bis 520 ms ist eine Maskierung vorhanden. Die Maskierungsdauer ist vergleichbar mit am Handballen oder der Fingerspitze ermittelten Werten. In dieser Studie blieben eine Reihe von Einflussfaktoren, die in der Einleitung besprochen wurden unberücksichtigt. Für die weitere Forschung sollte insbesondere das Verhältnis von Vor- und Nachmaskierung genauer untersucht werden, sowie verschiedene Beschleunigungspegel und Signaldauern berücksichtigt werden.

Danksagung

Diese Studie wurde durch die DFG AL1473/2-1 gefördert.

Literatur

- [1] GILSON, R. D.: Vibrotactile masking: Some spatial and temporal aspects. In: *Percept. Psychophys.* 5 (1969), Nr. 3, S. 176–180
- [2] SHERRICK, C. E.: Effects of double simultaneous stimulation of the skin. In: *Am. J. Psychol.* 77 (1964), Nr. 1, S. 42–53
- [3] GESCHEIDER, G. A. ; BOLANOWSKI JR, S. ; VERRILLO, R. T.: Vibrotactile masking: Effects of stimulus onset asynchrony and stimulus frequency. In: *J. Acoust. Soc. Am.* 85 (1989), Nr. 5, S. 2059–2064
- [4] GESCHEIDER, G. ; SANTORO, K. ; MAKOUS, J. ; BOLANOWSKI, S. : Vibrotactile forward masking: Effects of the amplitude and duration of the masking stimulus. In: *J. Acoust. Soc. Am.* 98 (1995), Nr. 6, S. 3188–3194
- [5] GESCHEIDER, G. ; MIGEL, N. : Some temporal parameters in vibrotactile forward masking. In: *J. Acoust. Soc. Am.* 98 (1995), Nr. 6, S. 3195–3199
- [6] MOORE, B. : *An introduction to the psychology of hearing.* 6. Auflage. Leiden : Emerald Group Publishing, 2012
- [7] FASTL, H. ; ZWICKER, E. : *Psychoacoustics – Facts and Models.* Third Edition. Berlin : Springer-Verlag, 2007
- [8] CRAIG, J. C.: Vibrotactile masking: A comparison of energy and pattern maskers. In: *Percept. Psychophys.* 31 (1982), Nr. 6, S. 523–529
- [9] CRAIG, J. C. ; EVANS, P. M.: Vibrotactile masking and the persistence of tactual features. In: *Percept. Psychophys.* 42 (1987), Nr. 4, S. 309–317
- [10] MERCHEL, S. ; LEPPIN, A. ; ALTINSOY, E. : Hearing with your body: the influence of whole-body vibrations on loudness perception. In: *ICSV 16.* Kraków, Poland, 2009
- [11] HANSEN, M. : *PsyLab – Documentation.* Version 2.5. Oldenburg: Institut für Hörtechnik + Audiologie Fachhochschule Oldenburg, Juni 2012
- [12] ALTINSOY, M. ; MERCHEL, S. : BRTF - Body Related Transfer Functions for Whole-Body Vibration Reproduction Systems. In: *Int. Conf. on Acoustics (NAG/DAGA 2009)*, 2009
- [13] STAMM, M. ; ALTINSOY, M. ; MERCHEL, S. : Frequenzwahrnehmung von Ganzkörperschwingungen im Vergleich zur auditiven Wahrnehmung I. In: *Proceedings of DAGA.* Berlin, 2010
- [14] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration. 1997. – Standard
- [15] MERCHEL, S. S ; DOU, J. ; ALTINSOY, M. E.: Comparison of the perceived intensity of time-varying signals in the tactile and auditory domain. In: *Inter-noise, Hamburg* (2016)