

Frequenzwahrnehmung von Ganzkörperschwingungen im Vergleich zur auditiven Wahrnehmung I

M. Stamm, M.E. Altinsoy und S. Merchel

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, Technische Universität Dresden, Helmholtzstraße 18, 01062 Dresden

Email: Maik.Stamm@tu-dresden.de

Einleitung

In dieser Arbeit wurde die Frequenzwahrnehmung von vertikalen Ganzkörperschwingungen beim sitzenden Menschen untersucht. Im Mittelpunkt der Betrachtungen stand dabei die Frequenzselektivität, die die Fähigkeit des Menschen bezeichnet, zwei gleichzeitig dargebotene Vibrationen getrennt voneinander wahrzunehmen. Die Ergebnisse einer entsprechenden Untersuchung sollten auf eventuelle Hinweise geprüft werden, nach denen die Aufnahme und Weiterleitung der vibratorischen Reize über voneinander unabhängig arbeitende Filter bzw. Kanäle erfolgt. Unter Berücksichtigung von Erkenntnissen und Messverfahren aus der Psychoakustik und der vibrotaktilen Wahrnehmungsforschung wurde ein für die Untersuchung geeignetes Maskierungsexperiment ausgewählt. In diesem Experiment konnte der Einfluss von drei maskierenden, schmalbandigen Rauschsignalen auf die Verschiebung der Fühlschwelle von sieben sinusoidalen Testsignalen bestimmt werden.

Auswahl eines geeigneten Experiments

In der Psychoakustik wurden für grundlegende Untersuchungen des Frequenzanalysevermögens des Gehöres zu meist Methoden genutzt, die auf Maskierungsexperimenten basieren [1]. Da die Aufnahme, Weiterleitung und Verarbeitung taktile Reize jedoch über das somatosensorische System erfolgt, sollten auch die im Forschungsgebiet der taktilen Wahrnehmung eingesetzte Methoden berücksichtigt werden. Besonders für Untersuchungen der Frequenzselektivität im Bereich der Handflächen, Daumenballen und Finger liegen zahlreiche Veröffentlichungen vor (u.a. von HAMER, GESCHIEDER und VERRILLO). In diesen Arbeiten wurde vielfach ein grundlegendes Verfahren genutzt, bei welchem die Mitfühlschwellen von Sinusvibrationen bei Verdeckung durch Schmalbandrauschen unterschiedlicher Mittenfrequenzen bestimmt werden [2]. Da dieses Experiment ebenso in der Psychoakustik zur Erforschung von Maskierungseffekten und der Frequenzselektivität erfolgreich zum Einsatz kam, wurde es für die vorliegende Arbeit ausgewählt.

Versuchsdurchführung

Messanordnung

Die Generierung der taktilen Stimuli erfolgt automatisiert in MATLAB. Da die Transferkennlinie des Vibrationsstuhles von der jeweiligen Versuchsperson abhängt (Body related transfer function, BRTF [3]), ist

eine von der Transferfunktion abhängige, inverse Digitalfilterung der Stimuli vorzunehmen, um die amplitudenrichtige Übertragung dieser zu gewährleisten. Die externe Soundkarte gibt die gefilterten Signale aus und überträgt sie zum Verstärker. Anschließend gelangen die Signale zum Shaker, die ihn somit ansteuern.

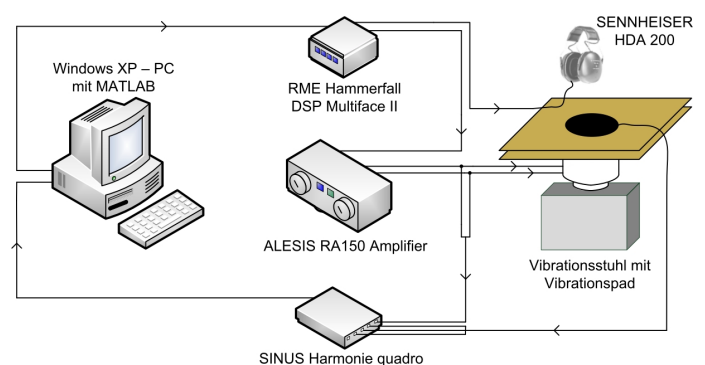


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Messanordnung.

Zwischen der Oberfläche des Vibrationsstuhles und dem Gesäß des Probanden befindet sich ein Vibrationspad von BRÜEL & KJÆR (Typ 4515-B), das die auf die Versuchsperson einwirkenden Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung aufnimmt. Diese Daten werden zum einen für die Berechnung der Transferfunktion und zum anderen für die Kontrolle der während der Versuchsdurchführung auf die Versuchsperson einwirkenden Signale benötigt.

Versuchsablauf

Im ersten Schritt erfolgte die Kalibrierung des Vibrationsstuhles auf den jeweiligen Probanden. Anschließend wurden die Fühlschwellen für die Teststimuli und die Maskierer gemessen. Als Teststimuli dienten Sinussignale der Frequenzen $f=15.75$ Hz, 20 Hz, 31.5 Hz, 63 Hz, 100 Hz, 160 Hz, 200 Hz und 300 Hz. Als Maskierer dienten schmalbandige Rauschsignale mit einer Bandbreite von 25 Hz und mit Mittenfrequenzen bei $f_c=31.5$ Hz, 63 Hz bzw. 160 Hz. Im zweiten Teil des Experiments wurde dann die Mitfühlschwelle eines jeden Testsignals bei gleichzeitiger Darbietung von einem der Schmalbandrauschen bestimmt. Die Intensität der Maskierersignale war unveränderlich und lag 22 dB über der individuellen Fühlschwelle. Als Messverfahren kam eine adaptive 3AFC 1up-2down Methode zum Einsatz. Während der Versuchsdurchführung hatten die Probanden einen geschlossenen Kopfhörer auf, der zur Maskierung der Geräusche des Vibrationsstuhles Rosa Rauschen mit einem Pegel von 69 dB(A) abspielte.

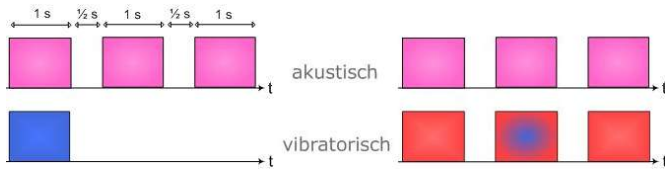


Abbildung 2: Vibratorische Reizdarbietung beim 3AFC Verfahren sowie akustische Maskierung des Vibrationssitzes durch Rosa Rauschen. **Links** Messen der Fühlschwellen. **Rechts** Bestimmen der Mitfühlschwellen bei Maskierung.

Um den gesamten Versuch durchzuführen, hätten sich die Probanden drei Stunden konzentrieren müssen. Deshalb wurde das Experiment in mehrere Teile aufgliedert.

Probanden

An den Untersuchungen nahmen insgesamt 22 Probanden (5x weiblich, 17x männlich) im Alter von 19-47 Jahren teil. 18 von ihnen besaßen keine Erfahrungen bei der Bewertung vibratorischer Stimuli. Die anderen 4 Probanden beteiligten sich an den Vorversuchen und können deshalb nicht als unerfahren eingestuft werden.

Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 3 sind die gemittelten Mitfühlschwellenverläufe dargestellt. In allen drei Diagrammen ist die größte Mitfühlschwelle an der Mittenfrequenz des entsprechenden Schmalbandrauschens zu finden. Als Haupteffekt stellt sich heraus, dass unabhängig von der Mittenfrequenz des Rauschens stets eine starke Verdeckung der hohen Testsignalfrequenzen erfolgt. Je tiefer die Mittenfrequenz jedoch liegt, desto breiter tritt der Maskierungseffekt in Erscheinung. So erfolgt durch den Maskierer mit $f_c=31.5$ Hz auch eine effektive Verdeckung sämtlicher niederfrequenten Testsignale, was durch die Maskierer mit $f_c=63$ Hz und 160 Hz nicht möglich ist. Dies liegt daran, dass der Verdeckungseffekt unterhalb der Mittenfrequenz des Rauschens stets beträchtlich abnimmt. Der gefundene Zusammenhang wird durch Untersuchungen im Bereich der Handflächen bestätigt [2]. Im Rahmen einiger Kontrolluntersuchungen wurde zudem die Wiederhol- bzw. Trainierbarkeit der Mitfühlschwellenmessungen sowie die Abhängigkeit der Verdeckungseffekte vom Maskiererpegeln untersucht. Die Ergebnisse können hier nur kurz zusammengefasst werden [4]:

- Die Stärke der Maskierung ist abhängig vom Pegel des Schmalbandrauschens. Ein größerer Maskiererpegel führt zu höheren Mitfühlschwellen und umgekehrt.
- Die Wiederholbarkeit der Versuche ist gewährleistet. Der Verlauf einer mittleren Maskierungskurve stimmt gut mit den Kurven der einzelnen Probanden überein.
- Der Einfluss eines Trainingseffekts ist erkennbar. Der Mitfühlschwellen von trainierten Probanden liegen leicht unter den gemittelten Werten. Zudem sind die intraindividuellen Abweichungen sehr klein.

Anhand der dargelegten Zusammenhänge lässt sich die Frequenzselektivität des Menschen bei der Wahrnehmung von Ganzkörperschwingungen bereits gut beschreiben.

Um jedoch die Ursachen für die in Abbildung 3 dargestellten, sich voneinander unterscheidenden Kurvenverläufe einkreisen zu können, müssen zahlreiche weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Die Vermutung liegt nahe, dass unterschiedliche Filter bzw. Kanäle für die Ausprägung der Frequenzselektivität von Bedeutung sind, da sie bereits im Forschungsgebiet der vibrotaktilen Wahrnehmung als Ursache identifiziert wurden [2].

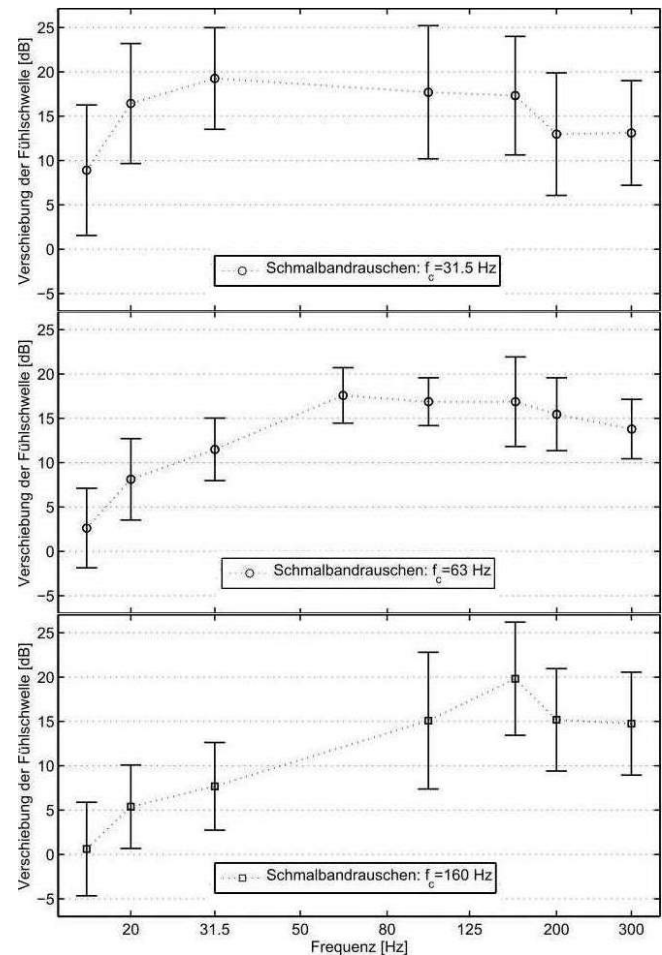


Abbildung 3: Mittelwerte der Mitfühlschwellen (\pm Standardabweichung) für Sinussignale unterschiedlicher Frequenzen bei Maskierung durch Schmalbandrauschen.

Literatur

- [1] Moore, Brian C. J.: An introduction to the psychology of hearing. Emerald Group Publishing, 2003
- [2] Hamer, Russell D. ; Verrillo, Ronald T. ; Zwislocki, Josef J.: Vibrotactile masking of Pacinian and non-Pacinian channels. In: The Journal of the Acoustical Society of America 73 (1982), Nr. 4, S. 1293–1302
- [3] Altinsoy, M.E. ; Merchel, S.: BRTF - Body related transfer functions for whole-body vibration reproduction systems. In: International Conference on Acoustics (2009). Rotterdam, The Netherlands
- [4] Stamm, Maik: Frequenzwahrnehmung von Ganzkörperschwingungen, Technische Universität Dresden, Diplomarbeit, 2009