

# Wahrnehmungs- und Unterschiedsschwellen von Vibrationen auf einem Kraftfahrzeugsitz

Ingo Baumann, Michael A. Bellmann, Volker Mellert und Reinhard Weber

Akustik FB Physik, C. v. Ossietzky Universität Oldenburg  
D-26111 Oldenburg

Email: ingo@aku.physik.uni-oldenburg.de

## 1 Einleitung

Ganzkörpervibrationen haben in der Regel negative Auswirkungen auf das subjektive Komfortempfinden, das bei der Benutzung von Fortbewegungsmitteln eine wichtige Rolle spielt. Für die Wahrnehmung von Ganzkörpervibrationen in Fahrzeugen existieren nur wenige grundlegende Untersuchungen.

Bestehende Normen, wie z.B. die ISO 2631 1/2 [3, 4], beziehen sich auf (Ganzkörper-)Vibrationen in Gebäuden. Die Personen sitzen dabei auf starren Sitzen, die die Vibrationen anders übertragen als z.B. Autositze.

In dieser Untersuchung werden die Wahrnehmungs- und Unterschiedsschwellen von vertikalen Ganzkörper-Vibrationen bei sinusförmiger Anregung auf einem realen Fahrzeugsitz gemessen. Gleichzeitig wird untersucht, in wieweit zusätzlich angebotenes akustisches Rauschen die Schwellen verschiebt. Die Perzeptionsschwellen aus der Literatur [1, 2], auf starren Stühlen gemessen - siehe Abb. 1, zeigen zum Teil große Unterschiede, sowohl untereinander als auch zu bestehenden Normen, z.B. der ISO 2631 1/2 [3, 4].

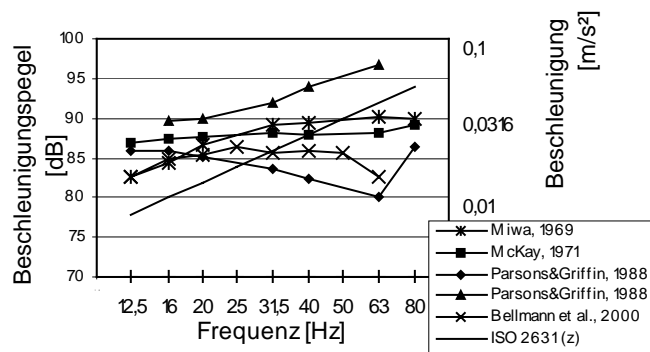


Abb. 1: Perzeptionsschwellen für vertikale Ganzkörpervibrationen aus der ISO 2631-2 [4] zusammen mit Literaturdaten [1, 2].

Unterschiedliche Messmethoden können ein Grund für die Abweichungen sein [2]. Es ist auch nicht klar, ob hörbarer Schall, der während den Messungen vom verwendeten Versuchsaufbau emittiert wird, die Messergebnisse beeinflusst.

Nur wenige Literaturdaten [1] existieren zu gerade wahrnehmbaren (Vibrationspegel-) Unterschiedsschwellen (JND-L).

## 2. Experimentelles Setup

### 2.1 Stimuli und Messmethode

Die Perzeptionsschwellen und die Pegelunterschiedsschwellen werden mit einem computergesteuerten, adaptiven 3-AFC 1up-2down-Messverfahren auf einem realen Fahrzeugsitz gemessen (70.7 % Punkt der psychometrischen Funktion). Die Testfrequenzen variieren von 12.5 bis 80 Hz in 1/3-Oktave-Schritten. Die Vibrationen werden in vertikaler (z-) Richtung angeregt. Die Signallänge beträgt 1 s mit 500 ms Pause. Jede Messung wird für jede Versuchsperson dreimal wiederholt (an drei unterschiedlichen Tagen). Die Intervallmarkierung erfolgt optisch über den Monitor des Rechners.

Die Messergebnisse sind als Beschleunigungspegel  $L_{Vib}$  [dB] (links) und als Beschleunigungsamplitude  $a$  [ $m/s^2$ ] (rechts) angegeben ( $L_{Vib} = 140$  dB entspricht  $a = 10$   $m/s^2$ )

## 2.2 Versuchsaufbau

Für die Anregung der Ganzkörpervibrationen wird das „Sound and Vibration Reproduction System<sup>1</sup>“ verwendet, das von der ITAP GmbH und der AG Akustik der Universität Oldenburg entwickelt worden ist [1, 5], siehe Abbildung 2. Dieses System zeichnet sich durch eine sehr geringe Schallabstrahlung während der Vibrationswiedergabe aus.

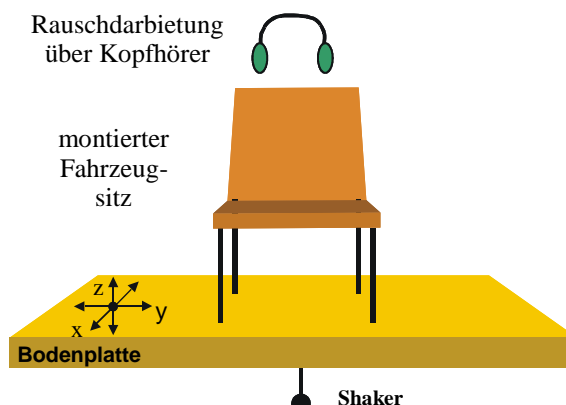


Abb. 2: Schematischer Aufbau des „Sound and Vibration Reproduction System<sup>1</sup>“.

Das Vibrationpad ist in einem schallarmen Labor mit entkoppeltem Fundament aufgebaut. Der akustische Hintergrundpegel beträgt 35 dB(A).

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Perzeptionsschwellen

12 Versuchspersonen (6 männlich, 6 weiblich / 22-32 Jahre) nehmen an den Messungen teil.

Abbildung 3 zeigt als Funktion der Frequenz die Mittelwerte und Standardabweichungen der Perzeptionsschwellen ohne zusätzliche Geräuschanregung („in Ruhe“) sowie den Median aller Versuchspersonen. (Anfangsschrittweite des adaptiven Messverfahrens: 8 dB, Endschrittweite: 1 dB). Die Unterschiede zwischen den Mittel- und Medianwerten sind gering.

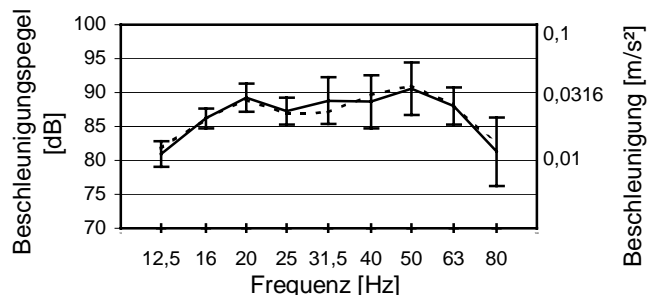


Abb. 3: Vergleich der Mittelwerte (-----) und der Mediane (- - -) der Perzeptionsschwellen für vertikale Ganzkörpervibrationen, gemessen auf einem realen Fahrzeugsitz.

Bis 50 Hz steigen die Perzeptionsschwellen mit 5 dB/Oktave an, zu hohen Frequenzen fallen sie jedoch wieder ab.

<sup>1</sup> System zur Wiedergabe der Vibrationen wird „Vibrationpad“ genannt.

Kann dieser unerwartete Abfall zu höheren Frequenzen durch abgestrahlten Schall des Vibrationpads verursacht sein, auf den die Versuchspersonen bei den Schwellenmessungen reagiert haben?

Um einen möglichen Einfluß der Schwellenmessung durch evtl. Schallabstrahlung auszuschließen, wird die Messung mit einem maskierenden Rosa Rauschen - 50 Hz bis 2 kHz / 68 dB(A), dargeboten über einen Stax-Kopfhörer - mit 8 Versuchspersonen (davon 6 männlich) wiederholt. Abgestrahlter Schall vom Vibrationpad wird somit verdeckt und kann nicht mehr als Indikator für Vibrationen bei dem 3 AFC-Verfahren verwendet werden.

In Abbildung 4 sind die Perzeptionsschwellen mit und ohne maskierendem Rauschen dargestellt.

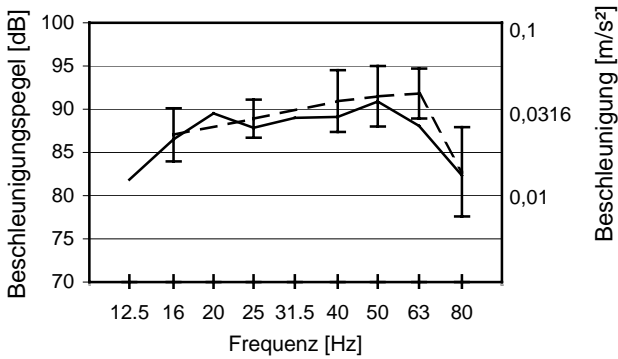


Abb. 4: Perzeptionsschwellen für vertikale Ganzkörpervibrationen auf einem Autositz ohne (-----) und mit (- - - -) verdeckendem Rosa Rauschen (68 dB(A)).

Die Perzeptionsschwelle mit akustisch verdeckendem Rauschen liegt um ca. 1.4 dB über der gemessenen Kurve ohne zusätzliches Geräusch. Wiederum fällt die Schwelle bei 80 Hz ab, obwohl diesmal ausgeschlossen ist, dass dies durch den emittierten Schall des vibrierenden Versuchsaufbaus hervorgerufen wird.

Abbildung 5 vergleicht die Perzeptionsschwellen auf dem realen Fahrzeugsitz dieser Untersuchung mit Literaturdaten [1, 2], die (zum Teil) auf starren Stühlen gewonnen wurden. Zusätzlich ist die Perzeptionsschwelle aus der bestehenden Norm, ISO 2631-2 [4], dargestellt.

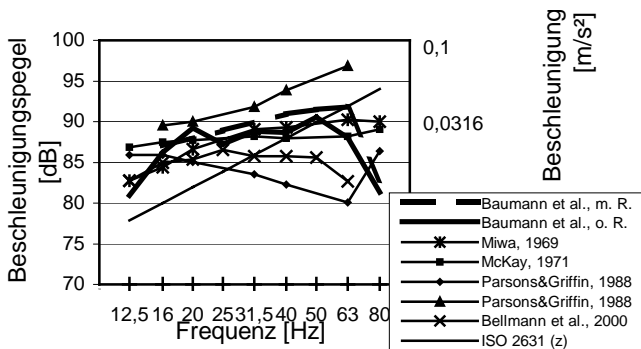


Abb. 5: Vergleich der gemessenen Perzeptionsschwellen (mit Rauschen (- - - -), ohne Rauschen (-----)) mit den Ergebnissen aus der Literatur [1, 2] und der bestehenden Norm [4].

Neben den in dieser Studie gemessenen Schwellen sind die Ergebnisse von Miwa 1969, McKay 1971, Parsons & Griffin 1988 [basieren auf einer Abbildung in 2], sowie Bellmann et al. 2000 [1] dargestellt. Die Perzeptionsschwellen zeigen ähnliche Kurvenverläufe wie die abgebildeten Literaturdaten. Die Unterschiede sind möglicherweise auf die verwendeten Messmethoden zurückzuführen [2]. Die zusammengestellten Messdaten zeigen erhebliche Unterschiede zur bestehenden Norm [3, 4].

### 3.2 Gerade wahrnehmbare Unterschiedsschwellen (JND-L)

Gerade wahrnehmbare (Vibrationspegel-) Unterschiedsschwellen (JND-L) sind für 10 Versuchspersonen (6 männlich, 4 weiblich) ermittelt worden. Der Startpegel des Testsignals

beträgt 110 dB (entsprechend 0,316 m/s²), der Pegel des Referenzsignals ist 100 dB (= 0,1 m/s²). Die Anfangs- / Endschrittweite beträgt 4 bzw. 0.5 dB.

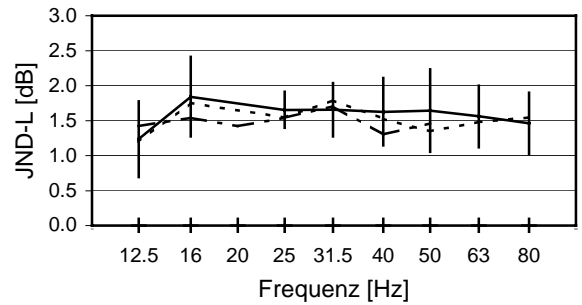


Abb. 6: Gerade wahrnehmbare (Vibrationspegel-) Unterschiedsschwellen (Mittelwert mit Standardabweichung (-----) sowie Medianwerte (- - - -), gemessen auf einem realen Fahrzeugsitz. Zusätzlich sind Literaturdaten (- - - -) [1], gemessen auf einem starren Stuhl, dargestellt.

Die gerade wahrnehmbare (Vibrationspegel-) Unterschiedsschwelle liegt frequenzunabhängig bei ca. 1.6 dB mit einer geringen Standardabweichung von 0.46 dB. Mittel- und Medianwerten unterscheiden sich kaum. Die Abweichungen zu früheren Messungen [1] sind ebenfalls gering.

### 4. Schlussfolgerungen

Die Perzeptionsschwelle („in Ruhe“) für vertikale sinusförmige Ganzkörpervibrationen auf einem realen Fahrzeugsitz steigt von 82 dB bei 12.5 Hz mit ca. 5 dB/Oktave bis 50 Hz an. Zu höheren Frequenzen fällt die Schwelle wieder auf 81 dB bei 80 Hz ab. Die hier bestimmten Perzeptionsschwellen zeigen erhebliche Abweichungen zur Norm, ISO 2631-2 [4].

Der Abfall der Perzeptionsschwellen bei 80 Hz ist nicht durch emittierten Schall des Versuchsaufbaus erklärbar. Zusätzlich angebotenes akustisches Rauschen erhöht die Perzeptionsschwelle für Vibrationen leicht um 1.4 dB bis 63 Hz.

Die gemessene (Vibrationspegel-) Unterschiedsschwelle beträgt frequenzunabhängig ca. 1.6 dB und liegt im Bereich von verfügbaren Literaturdaten [1].

### Literatur

1. Bellmann M.A., Mellert V., Reckhardt C. und Remmers H., „Experimente zur Wahrnehmung von Vibrationen“ In: Fortschritte der Akustik, DAGA 2000, 2000
2. Griffin M. J., „Handbook of human vibration“, Academic Press, 1991
3. ISO 2631-1, „Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements“, International Organization for Standardisation, Geneva (1997)
4. ISO 2631-2, „Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1-80 Hz)“, International Organization for Standardisation, Geneva (1989)
5. Remmers H. & Bellmann M.A., „System zur realistischen Wiedergabe von Schall und Vibrationen“, In: Fortschritte der Akustik, DAGA 2000, 2000