

Menschliche Wahrnehmung von Erschütterungen und tieffrequenten Geräuschen

E. Altinsoy, Professur für Akustik und Haptik, Technische Universität Dresden, D

Abstract

In vielen alltäglichen Situationen sind wir Geräuschen und Vibrationen gemeinsam ausgesetzt, da sie oft gekoppelt aneinander auftreten. So zum Beispiel in Fahrzeugen, bei Konzerten oder auch auf Baustellen. Wenn dabei der gesamte Körper zum Schwingen angeregt wird, meist im Stehen oder im Sitzen, spricht man von Ganzkörperschwingungen. In der Wahrnehmungsforschung nimmt deshalb die Wahrnehmung von Erschütterungen und die audio-taktile Interaktion zunehmend einen größeren Raum ein.

Die Messung der Erschütterungen an der richtigen Stelle ist eine physikalisch herausfordernde Aufgabe (DIN 4150, DIN 45669, DIN 4109-1). Die Analyse der Messergebnisse erfordert nicht nur physikalische Kenntnisse, sondern auch die Kenntnisse von der menschlichen Wahrnehmung und wahrnehmungsgerechte Algorithmen. Die spektralen und zeitlichen Strukturen von Schwingungssignalen spielen, ähnlich wie bei der Beurteilung von Hörereignissen, eine wichtige Rolle für die Beurteilung von Ganzkörperschwingungen. In diesem Vortrag werden zuerst wichtige Grundlagen zur menschlichen Wahrnehmung von Erschütterungen, wie Föhlschwelle, eben wahrnehmbare Pegelunterschiede (Just Noticeable Difference in Level, JNDL) und eben wahrnehmbare Frequenzunterschiede (Just Noticeable Difference in Frequency, JNDF) vorgestellt. Auch werden die individuellen Erschütterungs-Empfindlichkeiten und Wahrnehmungsgruppen diskutiert. Das Team der Professur für Akustik und Haptik hat in den letzten Jahren die Wahrnehmungsmerkmale für Ganzkörperschwingungen untersucht und modelliert. Im zweiten Teil des Vortrags werden diese Wahrnehmungsmerkmale und deren Algorithmen vorgestellt. Ein tieffrequenter akustischer Stimulus wird lauter wahrgenommen, wenn gleichzeitig ein vibratorischer Stimulus mit gleicher Frequenz vorliegt. Der dritte Teil des Vortrags wird sich auf audiotaktile Interaktion konzentrieren. Obwohl beide gleichzeitig auftretenden Immissionsarten gegenseitig zu Wechselwirkungen führen könnten, beinhalten Regelwerke für Arbeitsschutz lediglich getrennte Beurteilungen von Schall und Schwingungen. Die Berücksichtigung einer möglichen Wirkung durch die Kombination beider Reize wird darin zwar erwähnt, allerdings ohne Angaben, wie diese zu bestimmen ist. Die Studien des Autors haben gezeigt, dass sowohl der Schalldruck als auch der Beschleunigungspegel einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtlästigkeit einer Nutzfahrzeugsituation haben können. Zwischen beiden Reizen konnte zudem eine signifikante Interaktion nachgewiesen werden. Die in dem DFG-Projekt AL 1473/7-1 „Modellentwicklung zur Lästigkeitsprognose bei gleichzeitiger Exposition von Schall und Schwingungen“ entwickelten neuen Berechnungsvorschläge, die Erschütterungen und Lärm für die Gefährdungsbeurteilung gleichzeitig berücksichtigen, werden vorgestellt.

Menschliche Wahrnehmung von Erschütterungen und tieffrequenten Geräusche

Prof. Dr. Ercan Altinsoy
Technische Universität Dresden
(Ercan.Altinsoy@tu-dresden.de)



25. Symposium Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessung
Empa, Dübendorf

Inhalt

- Einleitung
- Individuelle Wahrnehmung- Subjektivität?
- Modellierung der neuen Ganzkörperschwingung-Wahrnehmungsgrößen zur tieffrequente Belästigung
- Modellierung der multimodalen Interaktion - Einfluss von Ganzkörperschwingungen auf die tieffrequente Geräuschwahrnehmung
- Beurteilung und multimodale Wahrnehmung von tieffrequenten Lärm und Vibrationen
- Zusammenfassung

INLEITUNG - MOTIVATION

Forschung – Zusammenhang Physik und Wahrnehmung

- Körperschall - Luftschall
- Wahrnehmung – Belästigung im Wohnumfeld/Arbeitsumfeld/Alltag
- Lärm



Mini-Blockheizkraftwerke, Luftwärmepumpen, Windkraftanlagen, Heizungsanlagen, Haushaltsgeräte, Klima- und Kühlgeräte, Ventilatoren, Verdichter, Pumpen, Verbrennungsmotoren, Elektromotoren, Autos, Züge, Flugzeuge, Kehrmaschinen, Erdbaumaschinen.....

Forschungen seit 2000

- Altinsoy, M. E., Auditory-tactile interaction in virtual environments. Shaker, 2006.
- Altinsoy, M. E.: Wahrnehmungsmerkmale von Ganzkörperschwingungen, Tagungsband DAGA 2010, Berlin
- Merchel, S., Altinsoy, M. E., & Leppin, A. Multisensorische Interaktion im Fahrzeug: Audio-Taktile Intensitätswahrnehmung. In Proceedings of DAGA, 2010.
- Merchel, S., Altinsoy, M. E., & Stamm, M. Equal intensity contours for whole-body vibrations compared with vibrations cross-modally matched to isophones. In Haptic and Audio Interaction Design: 6th International Workshop, HAID 2011, Kusatsu, Japan, August 25-26, 2011. Proceedings 6 (pp. 71-80). Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- Altinsoy, M. E. "Wahrnehmungsmerkmale von Ganzkörperschwingungen," Lärmbekämpfung, vol. 11, no. 1, 2016.
- Schwendicke A., Altinsoy M. E. Frequency Masking Effects for Vertical Whole-Body Vibration for Seated Subjects. *Vibration*, 2020, 3(4):357-370.
- Schwendicke, A.; Dou, J. & Altinsoy, M. E., Temporal Masking Characteristics of Whole Body Vibration Perception, *IEEE World Haptics 2017*, 2017
- Schwendicke, A. & Altinsoy, M. E., Vibrationen hören? - Durch Ganzkörperschwingungen ausgelöster Knochenschall, *DAGA 2018 - 44th German Annual Conference on Acoustics*, 2018
- Schwendicke, A. & Altinsoy, M. E., Ratter es noch oder holpert es schon - Wahrnehmung amplitudenmodulierter Ganzkörperschwingungen, *DAGA 2019 - 45th German Annual Conference on Acoustics*, 2019
- Schwendicke, A., & Altinsoy, M. E. (2021, August). Frequency dependence of vertical whole-body vibration perception - is your car rattling or humming?. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 263, No. 2, pp. 4913-4918). Institute of Noise Control Engineering, 2021.
- R. Rosenkranz and M. E. Altinsoy, "Mapping the Sensory-Perceptual Space of Vibration for User-Centered Intuitive Tactile Design", To appear in *IEEE Transactions on Haptics*.
- R. Rosenkranz, M. E. Altinsoy, S. Gruschwitz, and D. Schecker, "Nutzung von Wahrnehmungsmerkmalen für die Beurteilung von Humanschwingungen," in 7. VDI-Tagung Humanschwingungen 2018, 2018.
- Rosenkranz, R., & Altinsoy, M. E. Quantifizierung erwarteter taktiler Eigenschaften ohne Vibrationsdarbietung für taktiles Design. *DAGA*, Wien, 2021.
- Maravich, M. M., & Altinsoy, E. (2022). Influence of seat vibration frequency on total annoyance and interaction effects caused by simultaneous noise and seat vibrations in commercial vehicles. *Vibration*, 5(2), 183-199.
- Maravich, M. M., Rosenkranz, R., & Altinsoy, M. E. (2023). Annoyance Caused by Simultaneous Noise and Vibration in Commercial Vehicles: Multimodal Interaction and the Effects of Sinusoidal Components in Recorded Seat Vibrations. *Vibration*, 6(3), 536-555.

Arbeiten – Wohnen

Einwirkungen von Erschütterungen auf Menschen
Erschütterungen und tieffrequente Geräusche
entstehen:

Fahrzeuge – Erschütterungen und Geräusche



Mensch ist kein unimodaler sondern multimodaler Empfänger

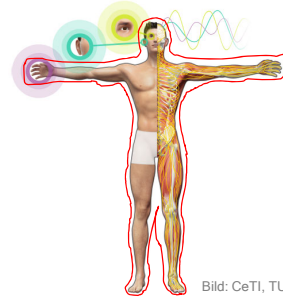


Bild: CeTI, TU Dresden

Modelle zur Belastung müssen diese Multimodalität berücksichtigen

Finnland – Reifen/Rollbahn Interaktion – Tieffrequente Geräusche/Schwingungen




Dröhnen, Brummen

Bild: www.quaeldich.de

Multisensorische Wahrnehmung




Datenraten für Informationsaufnahme und –weiterleitung der menschlichen Sinnesorgane

	Auge:	$10^6 - 10^9$ bit/s
	Ohr:	10^4 bit/s
	Finger:	10^2 bit/s

im ZNS eine deutliche Reduktion auf \rightarrow 10-100 bit/s

Product Design

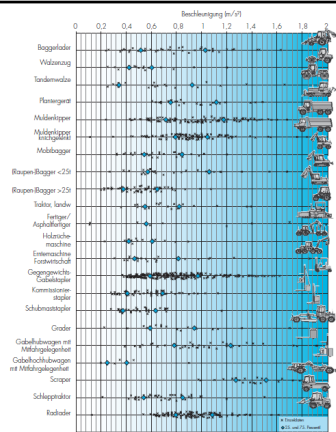
Zeitliche Präzision

	Auge:	25 ms
	Ohr:	2 ms
	Finger:	5 ms



Acoustics and Haptics

Jones, 1996; Lang 1991

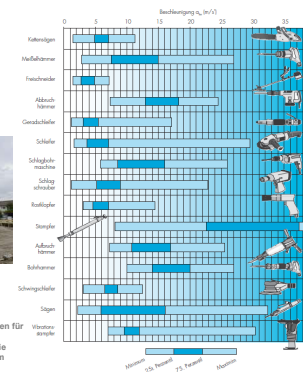


Europäische Kommission
Nicht verbindlicher Leitfaden für bewährte Verfahren zur Durchführung der Richtlinie 2002/44/EG (Vibrationen am Arbeitsplatz)

Baustellen - Erschütterungen und Tieffrequente Geräusche



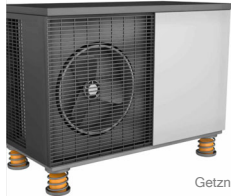
Mercur



Europäische Kommission
Nicht verbindlicher Leitfaden für bewährte Verfahren zur Durchführung der Richtlinie 2002/44/EG (Vibrationen am Arbeitsplatz)

Wohnen – Erschütterungen und Tieffrequente Geräusche

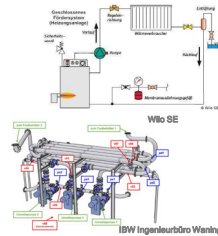
Luftwärmepumpen, Windkraftanlagen, Heizungsanlagen, Haushaltsgeräte, Klima- und Kühlergeräte, Pumpen



Getzner



Regenwasserpumpe.com

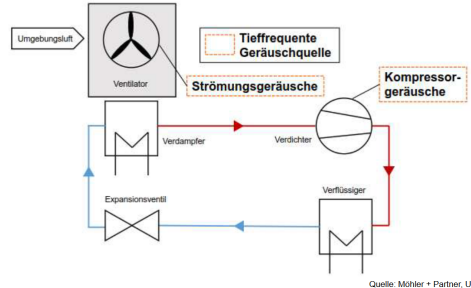


IBW Ingenieurbüro Werning

Geräuschphänomene

Tieffrequente Geräusche

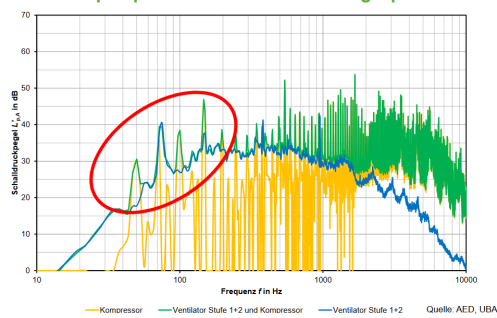
Tieffrequente Geräuschquellen in Luftwärmepumpen



Quelle: Möhler + Partner, UBA

Geräuschphänomene – Tieffrequente Geräusche

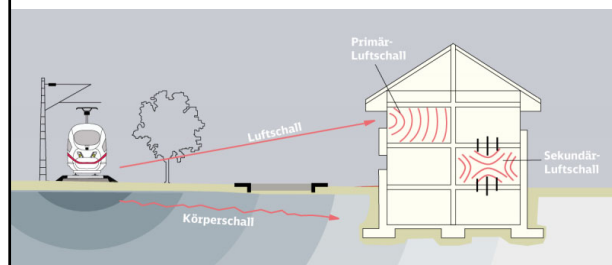
Luftwärmepumpe im Labor – Schalleistungsspektrum



Quelle: AED, UBA

Bahn – Erschütterungen und Tieffrequente Geräusche

Verkehr erzeugt neben dem akustisch wahrnehmbaren Schall auch Erschütterungen in Gleis- oder Straßennähe. DB InfraGO AG



DB InfraGO AG

Energieanlagen – Erschütterungen und tieffrequente Geräusche



Istec

Mini-Blockheizkraftwerke, Windkraftanlagen



PantherMedia / DanitaDelimontMicro (Peter Adams)

Normen - Richtlinien

- ISO 2631: Whole-body and hand-arm vibration measurement
- ISO 2631-2:2003 concerns human exposure to whole-body vibration and shock in buildings with respect to the comfort and annoyance of the occupants
- Seit Juli 2002 - Europäische Richtlinie 2002/44/EG zum Schutz der Beschäftigten vor schädlicher Vibrationseinwirkung am Arbeitsplatz
- Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen: LärmVibrationsArbSchV
- Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung
- Der Teil 2 von DIN 4150 befasst sich mit der Beurteilung von Erschütterungen die in Gebäuden auf Menschen einwirken

Verordnung

Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen:

LärmVibrationsArbSchV

Die Auslösewerte in Bezug auf den Tages-Lärmexpositionspegel (8h)

Geräusch: $L_{EX,8h} \geq 80 \text{ dB(A)}$
 $L_{EX,8h} \geq 85 \text{ dB(A)}$

GKS: $A(8h) \geq 0,5 \text{ m/s}^2$
 $A(8h) \geq 0,8 \text{ m/s}^2$

„Mögliche Interaktionen müssen berücksichtigt werden“

Belastungsrechner – Ganzkörper-Vibrationen

https://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/vibration/gkv-rechner_9.xlsx

Forschungsfragen - Projekte

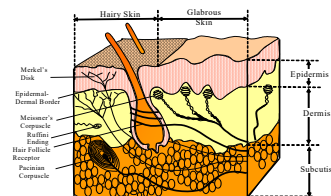
Wahrnehmbar oder nicht wahrnehmbar?

War Messung richtig und physikalisch nicht nachvollziehbar?

Wenn wahrnehmbar, ist es lästig oder nicht lästig?

WAHRNEHMUNG – WAHRNEHMUNGSSCHWELLE - INDIVIDUALITÄT

Mechanorezeptoren



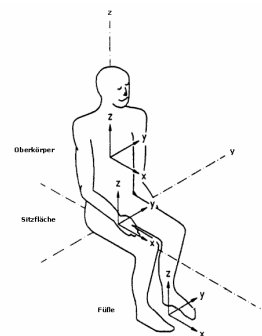
Rezeptor/Empfindung	Spannung	Druck	Berührung	Vibration
Merkel-Zellen	-----	-----	-----	-----
Ruffini-Körperchen	-----	-----	-----	-----
Meißner-Körperchen	-----	-----	-----	-----
Pacini-Körperchen	-----	-----	-----	-----

: Die Mechanorezeptoren.

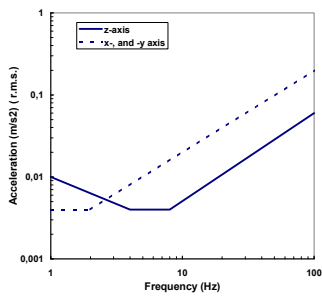
Mechanorezeptoren			
Steadily adapting	Merkel disks		Rapidly adapting
Ruffini ending (50-150 Hz)	Merkel disks (5-50 Hz)	Meissner corpuscle (50-100 Hz)	Pacinian corpuscle (10-1000 Hz)
5-4-100 Hz	5-15 Hz	10-60 Hz	50-1000 Hz

Abb. 1: Vermittelte Empfindungen über die wichtigsten Rezeptoren der Haut

Wahrnehmungsschwelle – ISO 2631



Wahrnehmungsschwelle – ISO 2631



Man muss die Werte sehr vorsichtig betrachten. Schwelle für reine Töne. In dem Alltag sind die Signale öfter komplexer und multiaxial. Sitzsituation ist kritisch.

Wahrnehmungsschwelle

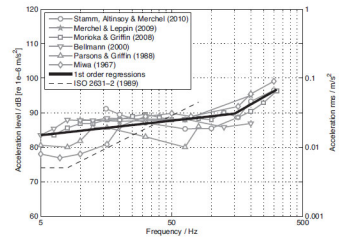
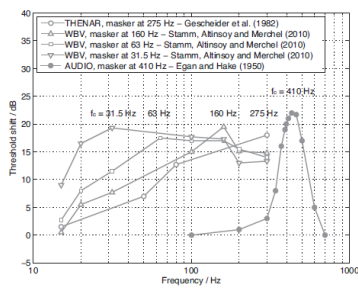


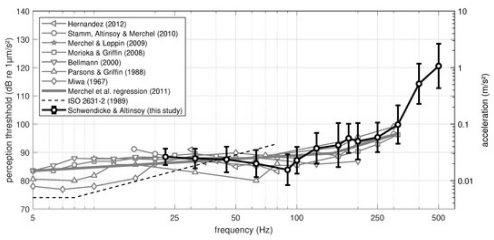
Fig. 2.8. Perception threshold for vertical sinusoidal WBVs from various laboratories [10, 114, 120, 132, 138, 153] in comparison to the threshold from ISO 2631:1989 [83]. A first-order regression was fitted to the data less than and greater than 150 Hz.

Maskierungskurven



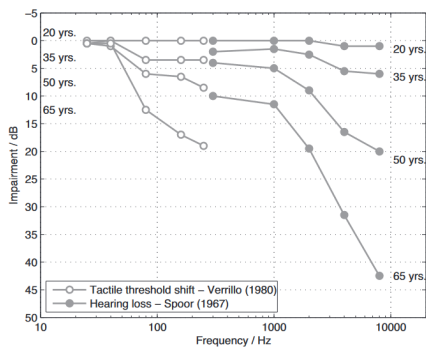
Wahrnehmungsschwelle

Fast 20 dB individuelle Schwankung



Schwendicke A, Altnosy ME. Frequency Masking Effects for Vertical Whole-Body Vibration for Seated Subjects. *Vibration* 2020; 3(4):357-370. <https://doi.org/10.3390/vibration3040024>

Alter - Wahrnehmungsschwelle



Individuelle Faktoren bei Betroffenen

- Individuelle Wahrnehmungsschwelle für Schwingungen
- Art der Tätigkeit während der Einwirkung
- Gesundheitszustand (physisch, psychisch)
- Gewöhnung oder Sensibilisierung
- Einstellung zur Verursacherin oder zum Verursacher
- Einschätzung der Vermeidbarkeit/Notwendigkeit der Einwirkung

Stadt Köln

Individuelle Wahrnehmung – Subjektivität?

Unterschiedliche Lärmempfindlichkeit – Skala von Weinstein

Anhang

Die Fragebogen-Items im Wortlaut

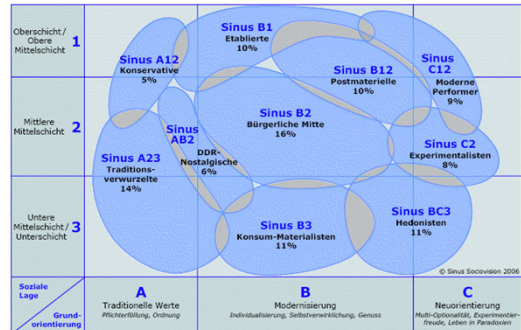
1. Es würde mir nichts ausmachen, an einer lauten Straße zu wohnen, wenn meine Wohnung schön wäre.
2. Mir fällt Lärm heutzutage mehr auf als früher.
3. Es sollte niemanden groß stören, wenn ein anderer ab und zu seine Stereoulage voll aufdreht.
4. Im Kino stört mich Flüstern und Rascheln von Bonbonpapier.
5. Ich werde leicht durch Lärm geweckt.
6. Wenn es an meinem Arbeitsplatz laut ist, dann versuche ich, Tür oder Fenster zu schließen oder anderswo weiterzuarbeiten.
7. Es ärgert mich, wenn meine Nachbarn laut werden.
8. An die meisten Geräusche gewöhne ich mich ohne große Schwierigkeiten.
9. Es würde mir etwas ausmachen, wenn eine Wohnung, die ich gerne mieten würde, gegenüber der Feuerwa- che läge.
10. Manchmal gehen mir Geräusche auf die Nerven und ärgern mich.
11. Sogar Musik, die ich eigentlich mag, stört mich, wenn ich mich konzentrieren möchte.
12. Es würde mich nicht stören, die Alltagsgeräusche meiner Nachbarn (z.B. Schritte, Wasserrauschen) zu hören.
13. Wenn ich allein sein möchte, stören mich Geräusche von außerhalb.
14. Ich kann mich gut konzentrieren, egal was um mich herum geschieht.
15. In der Bibliothek macht es mir nichts aus, wenn sich Leute unterhalten, solange dies leise geschieht.
16. Oft wünsche ich mir völlige Stille.
17. Motorräder sollten besser schalldämpft sein.
18. Es fällt mir schwer, mich an einem lauten Ort zu entspannen.
19. Ich werde wütend auf Leute, die Lärm machen, der mich vom Einschlafen oder vom Fortkommen in der Arbeit abhält.
20. Es würde mir nichts ausmachen, in einer Wohnung mit dünnen Wänden zu leben.
21. Ich bin geräuschempfindlich.

von „stimme sehr zu“ bis „stimme gar nicht zu“

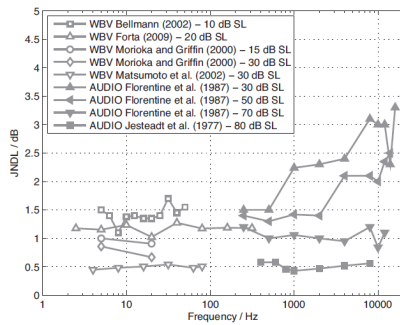
Zimmer, Ellermeier, 1997

Individuelle Wahrnehmung – Subjektivität?

Die Sinus-Milieus® in Deutschland 2006 Soziale Lage und Grundorientierung



Eben wahrnehmbare Pegelunterschiede



WAHRNEHMUNGSMERKMALE VON GANZKÖRPERSCHWINGUNGEN

Wahrnehmungsmerkmale von Ganzkörperschwingungen

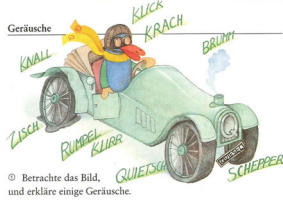
- Wahrnehmungsschwelle gibt keine Aussage über die Wahrnehmungs-Qualität/Lästigkeit
- In der klassischen Psychoakustik beschreiben die Versuchspersonen von ihr wahrgenommene Hörereignisse bezüglich der jeweils interessierenden Merkmale
- Die spektralen und zeitlichen Strukturen von Schwingungssignalen spielen, ähnlich wie bei der Beurteilung von Hörereignissen, eine wichtige Rolle für die Beurteilung von Ganzkörperschwingungen
- ZIEL: Modellierung der neuen Ganzkörperschwingung-Wahrnehmungsgrößen zur tieffrequente Belästigung

Ziele

- Modellierung der neuen psychoakustischen Größen zur tieffrequente Lärmbelastigung oder Anpassung der existierenden Modelle
- Modellierung der neuen Ganzkörperschwingung-Wahrnehmungsgrößen zur tieffrequente Belästigung
- Modellierung der multimodalen Interaktion

Wahrnehmungsmerkmale - Infraschallwahrnehmung

Psychoakustik: Lautheit + Schwankungsstärke

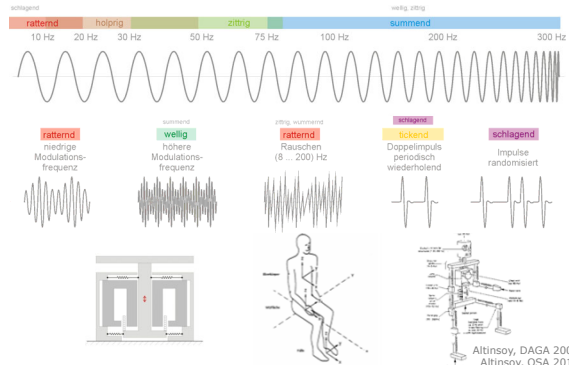


© Betrachte das Bild, und erkläre einige Geräusche.

Geeignete Beschreibungen Modellierung:

Brummen
Wummern
Dröhnen
Auf- und Abschwellen der Lautstärke
...

Wahrnehmungsmerkmale - Modellierung



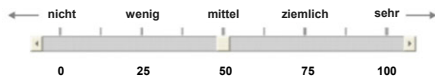
Altinsoy, DAGA 2009
Altinsoy, GSA 2010

Ganzkörperschwingung-Experimente

Die Attribute hängen von der Frequenz, Beschleunigungspegel und Modulationseigenschaften ab.

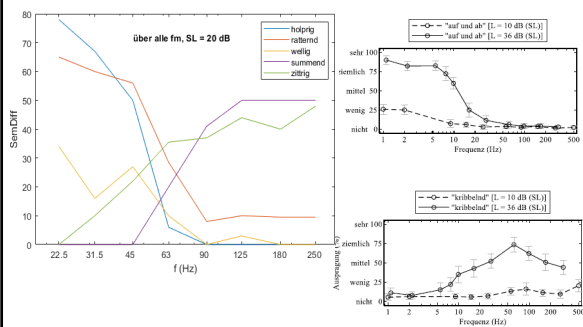
Die Attribute auf und ab, brummend, ratternd, holzig, summend, zitterig und wellig wurden systematisch mit sinusiodalen und amplitudenmodulierten Signalen untersucht.

Das semantische Differential wurde für alle Signale mit Hilfe von 35 Versuchspersonen (17 weibliche, 18 männlich) erhoben

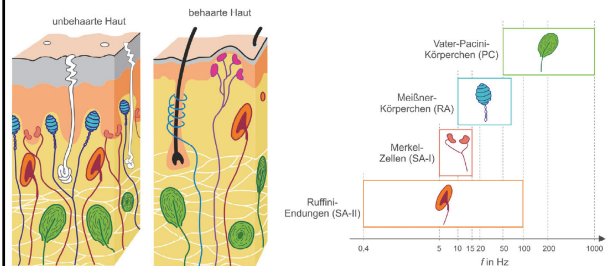


MODELLIERUNG DER NEUEN GANZKÖRPERSCHWINGUNG-WAHRNEHMUNGSGRÖßEN ZUR TIEFFREQUENTE BELÄSTIGUNG

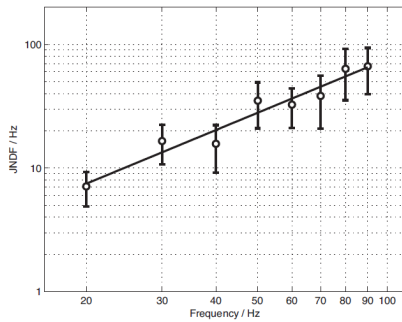
Modellierung der GKS-Größen



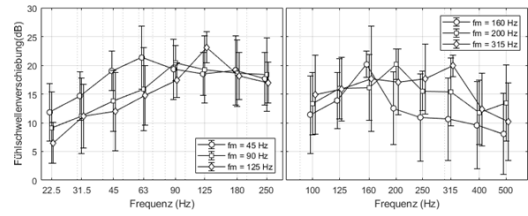
Modellierung der Größen – Physiologische Grundlagen



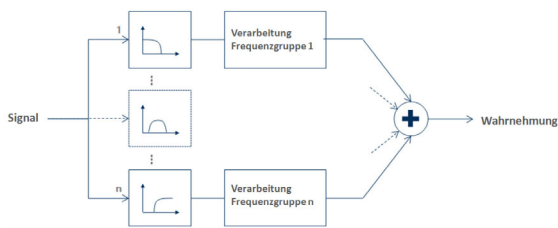
Eben wahrnehmbarer Frequenzunterschied



Frequenzmaskierung von Ganzkörperschwingungen für tiefe (links) und hohe (rechts) Frequenzen



Physiologische und Signaltheoretische Einsätze



MULTI - MODALES - MESSLABOR



- Audio-System:**
Wellenfeldsynthes
464 Lautsprecher
- Motion
plattform:**
Hydraulisch
Hexapod
6
Freiheitsgrade
- Visuell:**
Akustisch
Transparent
Full-hd video
projector

Der Übergang vom „Hören“ zum „Fühlen“ ist fließend

MODELLIERUNG DER MULTIMODALEN INTERAKTION - EINFLUSS VON GANZKÖRPERSCHWINGUNGEN AUF DIE TIEFFREQUENTE GERÄUSCHWAHRNEHMUNG

Paulsen, P. & Kastka, J. (1995) Effects of combined noise and vibration on annoyance. J SV, 181, (2), 295-314.

Ljungberg, J. K. (2008). Combined exposures of noise and whole-body vibration and the effects on psychological responses, a review. JLFNVAC, 27(4), 267-279.

Merchel, S., Leppin, A., & Altinsoy, E. (2009). Hearing with your body: the influence of whole-body vibrations on loudness perception. ICSV, Poland.

Merchel, S., Altinsoy, M. E., & Leppin, A. (2010). Multisensorische Interaktion im Fahrzeug: Audio-Taktile Intensitätswahrnehmung. In Proceedings of DAGA.

Erschütterungen – Tieffrequente Geräuschwahrnehmung - Experimente

Es wurden zwei Experimente durchgeführt.

Intensitätswahrnehmung

1. Experiment: Lautheit
2. Experiment: Vibrationsstärke

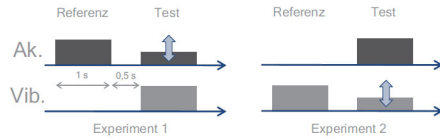
Die Versuchsperson hatte dabei die Aufgabe einen bimodalen Stimulus bezüglich der wahrgenommenen Lautheit oder Vibrationsintensität an einen unimodalen Referenzstimulus anzugleichen.

Experimente

Experiment 1 Die Versuchsperson soll die Lautheit eines Referenztons ohne Vibration und eines Testtons mit gleichzeitiger Vibrationswiedergabe vergleichen.

Ton und Ganzkörperschwingung haben dabei die gleiche Frequenz.

Aus dem Überlappungsbereich von auditiver und taktile Wahrnehmung werden vier Frequenzen ausgewählt (10, 20, 63 und 200 Hz).



Intensitätswahrnehmung

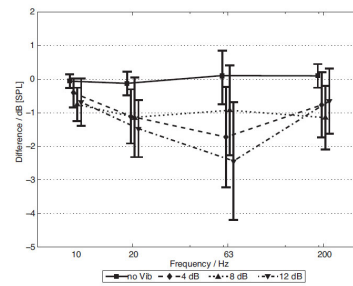


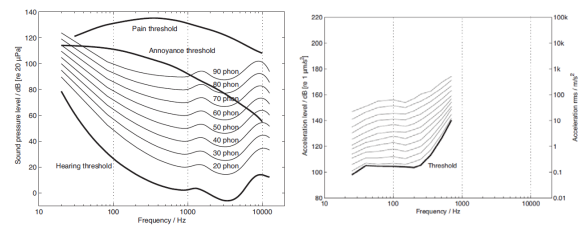
Fig. 5.16. Results of the loudness-matching experiment, indicating the mean values and standard deviations. The difference between the adjusted level of the reference tone and the level of the test tone is presented for all vibration conditions.

Sebastian, Merchel: Auditory-Tactile Music Perception: Shaker Verlag, Germany (2014)

Ergebnisse

Ein tieffrequenter akustischer Stimulus wird lauter wahrgenommen, wenn gleichzeitig ein vibratorischer Stimulus mit gleicher Frequenz vorliegt.

Audiotaktile Interaktion



Sebastian, Merchel: Auditory-Tactile Music Perception: Shaker Verlag, Germany (2014)

Beurteilung und multimodale Wahrnehmung von tieffrequenten Lärm und Vibrationen in Kehrmaschinen



Verordnung

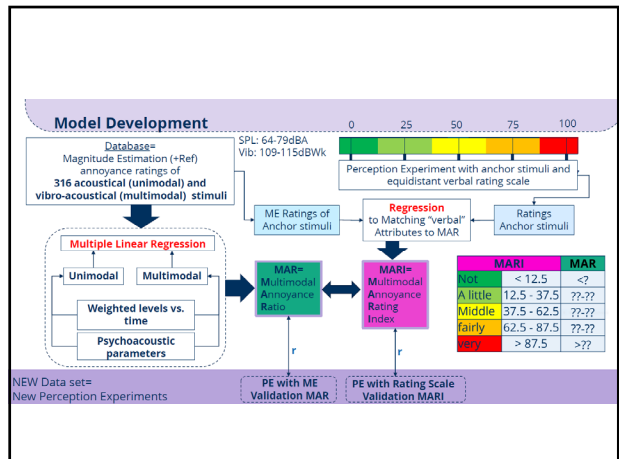
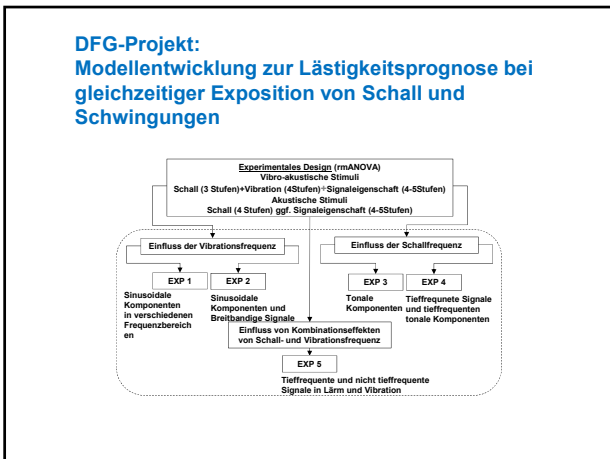
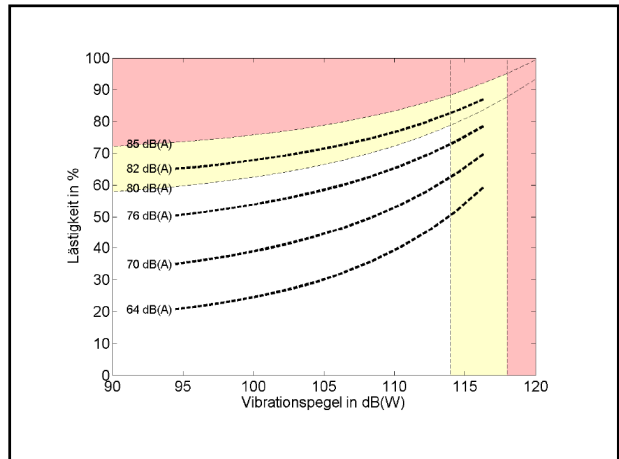
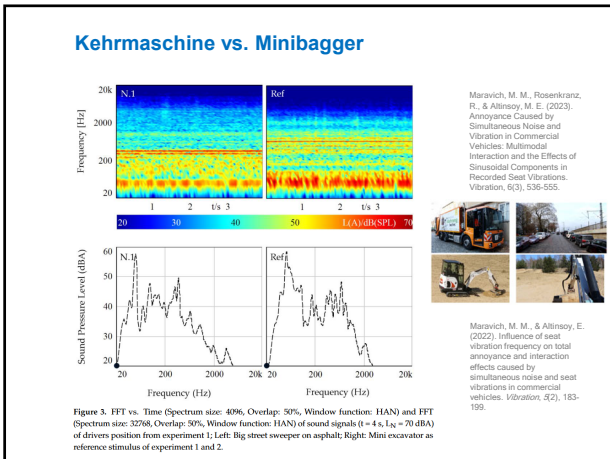
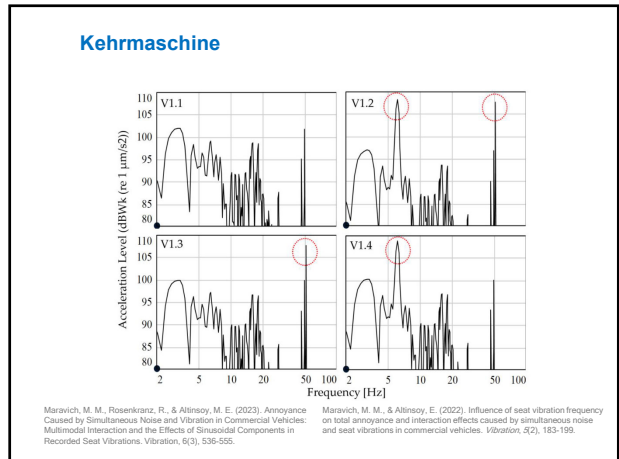
Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen:

LärmVibrationsArbSchV

Die Auslösewerte in Bezug auf den Tages-Lärmexpositionspegel (8h)

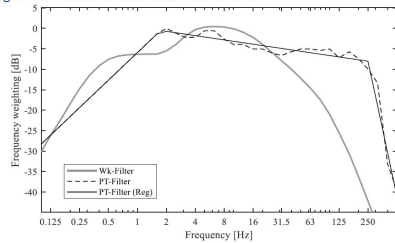
Geräusch: $L_{EX,8h} \geq 80 \text{ dB(A)}$ GKS: $A(8h) \geq 0,5 \text{ m/s}^2$
 $L_{EX,8h} \geq 85 \text{ dB(A)}$ $A(8h) \geq 0,8 \text{ m/s}^2$

„Mögliche Interaktionen müssen berücksichtigt werden“



Perception Threshold Filter* vs. W_k-Filter

*PT-Filter according to the data of Morioka¹ and Schwendicke²



¹Morioka, M., Griffin, M. J.: Absolute thresholds for the perception of fore-and-aft, lateral, and vertical vibration at the hand, the seat, and the foot. In: Journal of Sound and Vibration 314 (2008), Nr. 1-2, S. 357 – 370
²Schwendicke, A., Allinsoy, E., Merchet, S.: Was fühlen wir noch? – Ganzkörperschwingungsfühlschwellen für hohe Frequenzen. DAGA 2015

Zusammenfassung

- Psychoakustische Modelle für die tieffrequente Lärmbelastung
- Wahrnehmungsmodelle für die Ganzkörperschwingung
- Ein tieffrequenter akustischer Stimulus wird lauter wahrgenommen, wenn gleichzeitig ein vibratorischer Stimulus mit gleicher Frequenz vorliegt
- Das gleichzeitige Auftreten von Lärm und Vibrationen führt zu einer deutlichen Erhöhung des Lästigkeitsurteils gegenüber einer unimodalen Belastung
- Eine multimodale Betrachtung der Immissionssituation erforderlich

Zukunftige Ziele

- Modellierung – Entwicklung und Implementierung von Analysetools
- Grenzwertsetzung – Lästigkeit
- Schall & Schwingung Grenzwerte
- Überarbeitung - DIN 45680 Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen mit dem Beiblatt 1
- Experimente Teilweise im Labor + Teilweise im Feld

Vielen Dank!

und

Good Vibrations!

Akustik – Dresdner Schule

Heinrich Barkhausen



Walter Wöhle



Wolfgang Kraak



Walter Reichardt



Arno Lenk



Peter Költzsch



MULTI - MODALES - MESSLABOR



Audio system:

Wave-field synthesis with 464 loudspeakers

Motion platform:

hydraulic Hexapod with 6 degrees of freedom

Projection system:

acoustically transparent woven screen, full-hd video projector

Reflexionsarmer Raum



Hallraum

