

Erschütterungen und tieffrequente Geräusche

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

LfULG Online Veranstaltung - Tieffrequente Geräusche
Aktuelle Untersuchungsergebnisse

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

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.....

Mensch ist kein unimodaler stattdessen multimodaler Empfänger

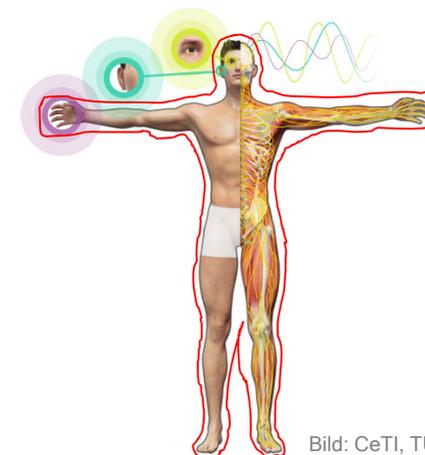


Bild: CeTI, TU Dresden

Modelle zur Belästigung müssen diese Multimodalität berücksichtigen

Finnland – Reifen/Rollbahn Interaktion – Tieffrequente Geräusche/Schwingungen



Dröhnen, Brummen

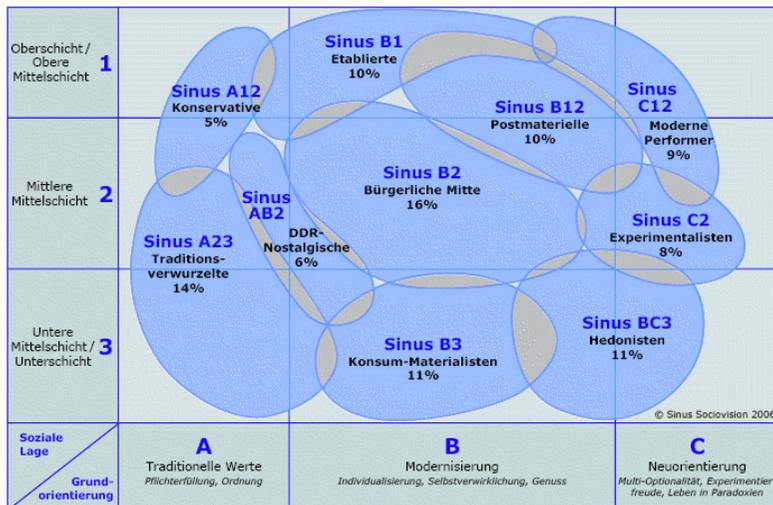
Bild: www.quaeldich.de

Ziele

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

Individuelle Wahrnehmung – Subjektivität?

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



Individuelle Wahrnehmung – Subjektivität?

Unterschiedliche Lärmempfindlichkeit – Skala von Weinstein

<p>Anhang Die Fragebogen-Items im Wortlaut</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 Stereoanlage 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 Feuerwache läge. 10. Manchmal gehen mir Geräusche auf die Nerven und ärgern mich. 	<ol style="list-style-type: none"> 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 schallgedämpt 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

Poulsen, T. (2003). Annoyance of Low Frequency Noise (LFN) in the Laboratory Assessed by LFN-Sufferers and Non-Sufferers. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 22(4), 191–201.

Eom, J. S., Kim, S. H., Jung, S. S., & Sohn, J. H. (2014). Low frequency noise and it's psychological effects. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 33(1), 39–48.

Leventhall, G. (2009). Low Frequency Noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 28(2), 79-104.

Kjellberg, A., Goldstein, M., & Gamberale, F. (1984). An assesment of dB (A) for predicting loudness and annoyance of noise containing low frequency components. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 3(3), 10-16.



Modellierung der neuen Ganzkörperschwingung-Wahrnehmungsgrößen zur tieffrequente Belästigung

MULTI – MODALES - MESSLABOR



Audio-System:
Wellenfeldsynthese
464 Lautsprecher

**Motion
plattform:**
Hydraulisch
Hexapod
6
Freiheitsgrade

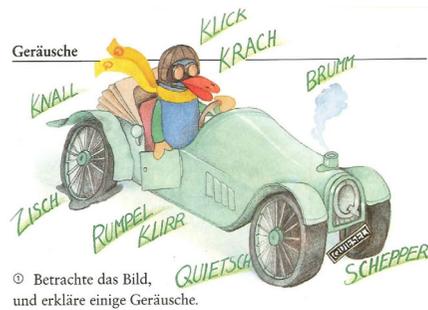
Visuell:
Akustisch
Transparent
Full-hd video
projector

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

- Schwendicke, A. & Altinsoy, M. E., Rattert es noch oder holpert es schon - Wahrnehmung amplitudenmodulierter Ganzkörper-schwingungen, DAGA 2019 - 45th German Annual Conference on Acoustics, 2019
- 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
- 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.

Wahrnehmungsmerkmale - Infraschallwahrnehmung

Psychoakustik: Lautheit + Schwankungsstärke

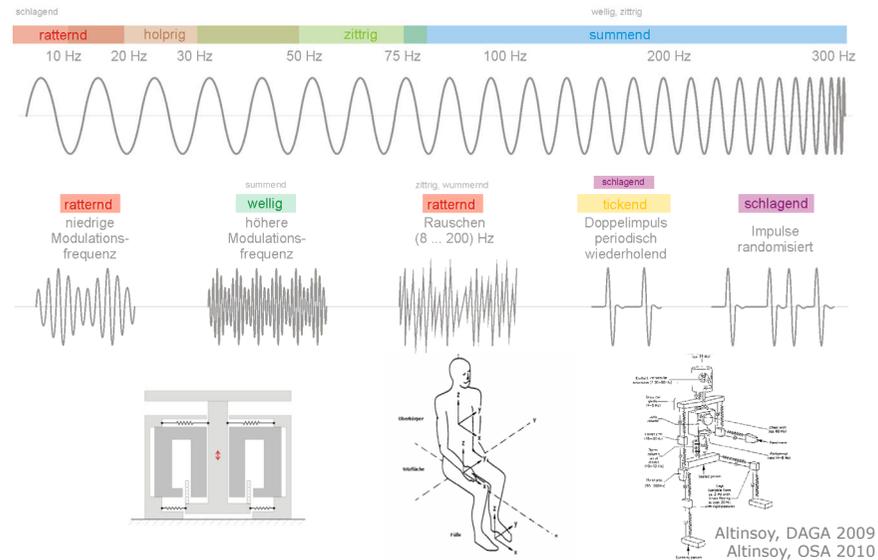


Geeignete
Beschreibungen
Modellierung:

Brummen
Wummern
Dröhnen
Auf- und
Abschwellen der
Lautstärke

...

Wahrnehmungsmerkmale - Modellierung

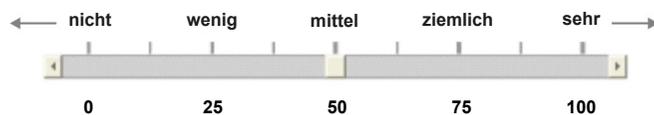


Ganzkörperschwingung-Experimente

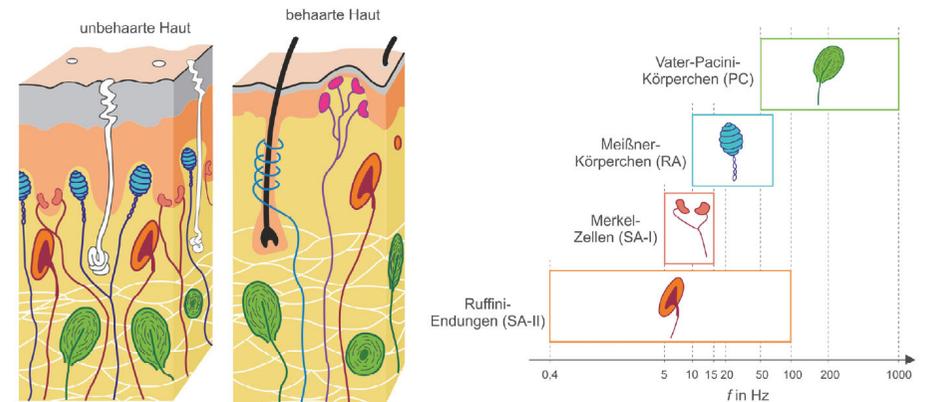
Die Attribute hängen von der Frequenz, Beschleunigungspegel und Modulationseigenschaften ab.

Die Attribute auf und ab, brummend, ratternd, holprig, summend, zitternd und wellig wurden systematisch mit sinusoidalen und amplitudenmodulierten Signalen untersucht.

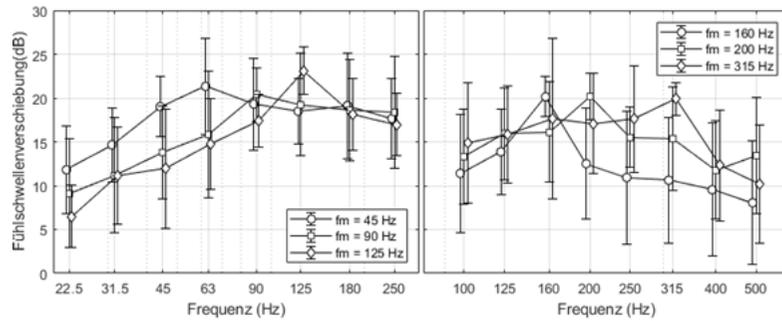
Das semantische Differential wurde für alle Signale mit Hilfe von 35 Versuchspersonen (17 weibliche, 18 männlich) erhoben



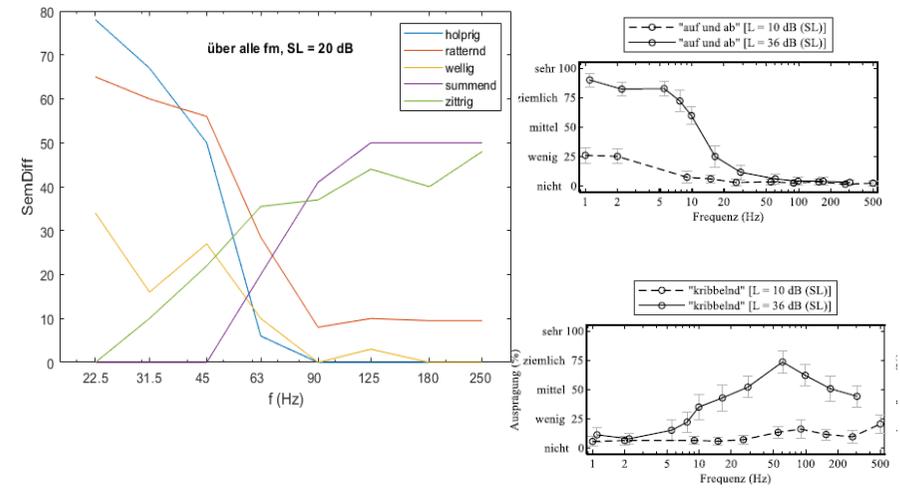
Modellierung der Größen – Physiologische Grundlagen



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



Modellierung der GKS-Größen



Physiologische und Signaltheoretische Einsätze

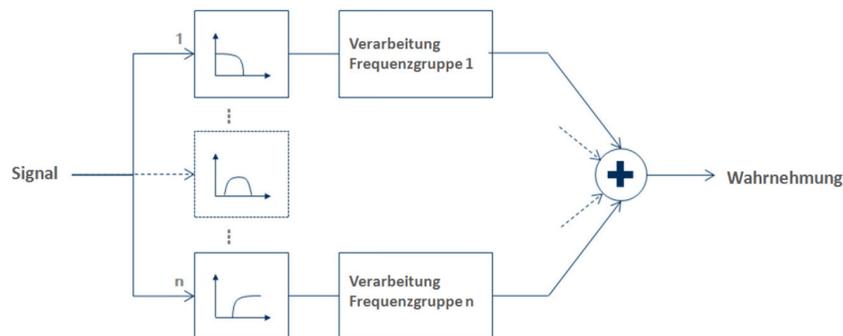


Tabelle 1: Hauptkomponentenanalyse über die Bewertungen der häufigsten Wahrnehmungsmerkmale für jeden der 99 Vibrationsstimuli

Wahrnehmungsmerkmal		Komponente			
Übersetzung	Deutsch	1	2	3	4
bumpy	holprig	0,94	-0,26	0,1	0,09
buzzing	summend	-0,19	0,94	0,13	0
calm	ruhig	-0,76	-0,4	-0,23	-0,31
decaying	abklingend	0,06	-0,05	0,01	0,96
fading	nachschwingend	0,29	-0,12	0,06	0,91
grinding	rauschend	-0,01	0,84	-0,16	-0,38
humming	brummend	0,24	0,9	0,16	-0,1
jolting	schlagend	0,58	0,05	0,47	0,6
pulsating	pulsierend	0,47	0,17	0,84	0,1
rattling	ratternd	0,82	0,42	0,21	-0,2
repetitive	wiederholend	0,18	-0,05	0,89	-0,34
shaky	rüttelnd	0,95	-0,14	0,1	0,14
shuddering	zittrig	0,93	0,13	0,16	-0,04
smooth	weich	-0,7	-0,41	-0,19	-0,28
throbbing	wummern	0,73	0,2	0,53	0,21
ticking	tickend	0,14	0,18	0,92	0,19
tingling	kribbelnd	0,01	0,95	0,19	0,08
trembling	wackelnd	0,9	-0,33	0,03	0,19
uniform	gleichmäßig	-0,15	0,16	0,52	-0,67
up and down	auf und ab	0,8	-0,38	0,03	0,22
weak	schwach	-0,82	-0,36	-0,25	-0,25

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

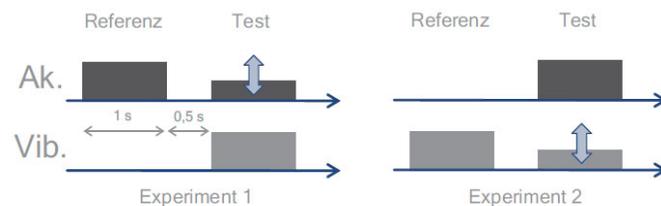
1. Experiment: Lautheit
2. Experiment: Vibrationsstärke

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

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 taktiler Wahrnehmung werden vier Frequenzen ausgewählt (10, 20, 63 und 200 Hz).



Intensitätswahrnehmung

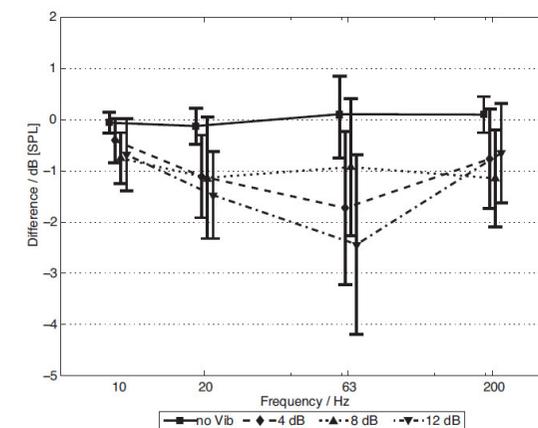
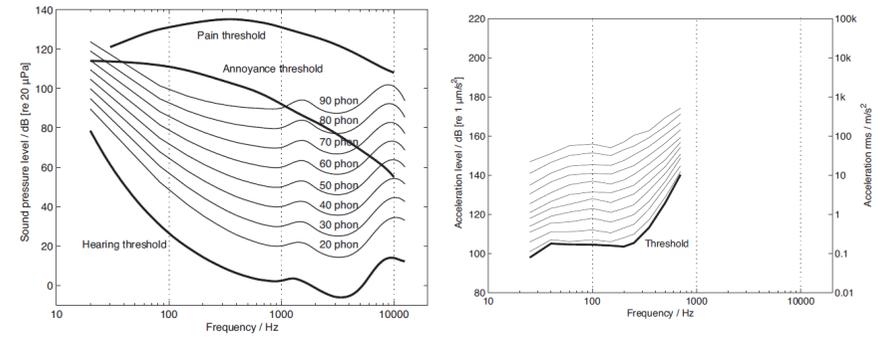


Fig. 5.16. Results of the loudness-matching experiment, indicating the mean values and standard deviations. The difference between the adjusted level of the reference tone and the level of the test tone is presented for all vibration conditions.

Ergebnisse

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

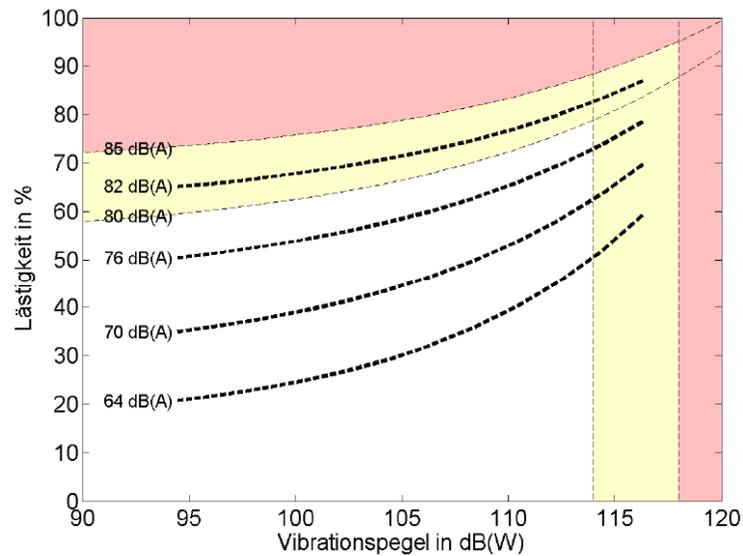
Audiotaktile Interaktion



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

Beurteilung und multimodale Wahrnehmung von tieffrequenten Lärm und Vibrationen in Kehrmaschinen





Zusammenfassung

- Psychoakustische Modelle für die tieffrequente Lärmbelastigung
- 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 Belästigung
- Eine multimodale Betrachtung der Immissionssituation erforderlich

Zukünftige 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

Lehrstuhl für Akustik und Haptik



Akustik – Dresdner Schule

Heinrich Barkhausen



Lautstärkemesser nach Heinrich Barkhausen.

Wolfgang Kraak



Walter Wöhle



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

