

Taktile Wahrnehmungsmerkmale von Ganzkörperschwingungen und Hand-Arm-Schwingungen im Vergleich

Robert Rosenkranz, Martin Wilberg, Ercan Altinsoy

Lehrstuhl für Akustik und Haptik, TU Dresden, 01062, Deutschland,

Email: robert.rosenkranz@tu-dresden.de

Einleitung

In vielen alltäglichen Situationen, wie bspw. in Fahrzeugen, Flugzeugen, Schiffen oder musikalischen Vorstellungen (Konzertsaal), treten neben Geräuschen auch Vibrationen in Form von Ganzkörperschwingungen (GKS) und Hand-Arm-Schwingungen (HAS) auf. Sobald z.B. der Fahrer eines Fahrzeugs das Gaspedal betätigt, werden Vibrationen erzeugt. Diese kann der Fahrer taktile u.a. über den Fahrzeugsitz aber auch über das Lenkrad wahrnehmen. Die spektralen und zeitlichen Strukturen von Schwingungssignalen spielen, ähnlich wie bei der Beurteilung von Hörereignissen, eine wichtige Rolle für die Beurteilung von GKS und HAS.

Das Wissen bezüglich der Ganzkörperschwingungswahrnehmung beschränkt sich im Wesentlichen auf grundlegende psychophysikalische Eigenschaften wie Fühlschwelle [1], Just Noticeable Level Difference (JNDL) [2] oder Just Noticeable Frequency Difference [2], [3]. Eine vollständigere Beschreibung der relevanten Wahrnehmungsmerkmale von GKS wäre wünschenswert. Die Begriffe zur Beschreibung sollten möglichst so gewählt werden, dass sie auch für Laien intuitiv verständlich und somit auch ohne Erläuterung vielseitig einsetzbar sind. Mit Hilfe von Modellen solcher Wahrnehmungsmerkmale kann die Analyse und Synthese von GKS und HAS vereinfacht werden. Diese Modelle ließen sich für Schwingungsdesign, bei der Gestaltung von Produkten oder der Generierung von Szenen für virtuelle Umgebungen [4] einsetzen, wo gezielt eine bestimmte Wahrnehmung beim Nutzer erzeugt werden soll.

Wahrnehmungsmerkmale von GKS

Wahrnehmungsmerkmale von GKS wurden bereits durch Altinsoy [5] und Rosenkranz [6–8] untersucht. Zunächst wurden jeweils Wahrnehmungsmerkmale für sinusoidale [8], rauschartige [7] und amplitudenmodulierte (AM) [6] GKS-Signale in einem freien Interview ermittelt. Die in [6], [8] verwendeten sinusoidalen Stimuli sind in Abbildung 1 zwecks Vergleich mit der aktuellen Studie dargestellt. Danach wurde die die Ausprägung der am häufigsten genannten Wahrnehmungsmerkmale bestimmt und ihre Korrelation mit einfachen Signalmustern überprüft. Die Ergebnisse von [6] für GKS zeigten 3 Gruppen.

1. Dominant pegelabhängige Attribute. Ein Attribut in dieser Gruppe ist *schwach*. Die Ausprägung dieses Attributs in Abhängigkeit von Frequenz und Pegel ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Ausprägung dieser Attribute ist weitgehend frequenzunabhängig mit einem leichten Anstieg zu hohen Frequenzen.
2. Dominant frequenzabhängige Attribute Ein Attribut in dieser Gruppe ist *rüttelnd*. Die Ausprägung dieses Attributs in Abhängigkeit von Frequenz und Pegel

ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Ausprägung jedes dieser Attribute hat ein deutliches frequenzabhängiges Maximum, welches vor Allem für hohe Pegel deutlich ersichtlich ist. Neben der Frequenzabhängigkeit existiert also auch eine Pegelabhängigkeit.

3. Attribute deren Ausprägung sich durch Modulation stark verändert, z. B. *pulsierend*. Im Vergleich zu sinusoidalen GKS kann bei AM-sinusoidalen GKS bei Wahrnehmungsmerkmalen dieser Gruppe eine erhöhte Ausprägung beobachtet werden.

Wahrnehmungsmerkmale von sinusoidalen und (am-) sinusoidalen HAS

Fragestellungen für diese Studie

Bisher wurden nur Wahrnehmungsmerkmale für GKS Vibrationen untersucht. Im Alltag, bspw. im Fahrzeug, treten jedoch auch Hand-Arm-Schwingungen auf. Daher soll eine Übertragbarkeit von bisherigen Ergebnissen von Wahrnehmungsmerkmalen von GKS auf HAS untersucht werden. Folgende Fragestellungen sollen überprüft werden:

1. Werden für HAS dieselben Wahrnehmungsmerkmale zur Beschreibung genutzt wie für GKS?
2. Rufen gleiche Stimulusparameter mit GKS vergleichbare Ausprägungen identischer Wahrnehmungsmerkmale bei HAS hervor?

Zur Überprüfung der ersten Hypothese wurde ein freies Interview mit HAS durchgeführt.

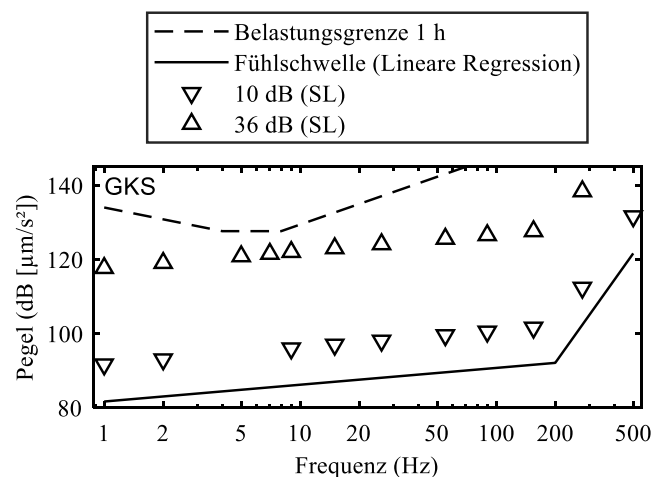


Abbildung 1: Sinusoidale GKS-Stimuli, die für das Experiment [6] ausgewählt wurden mit Fühlschwelle und Belastungsgrenze

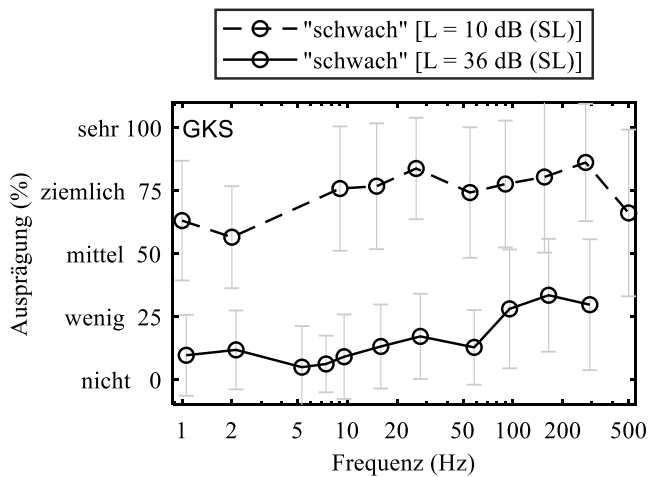


Abbildung 4: Ausprägung des dominant pegel-abhängigen Wahrnehmungsmerkmals *schwach* für sinusoidale GKS aus [6]

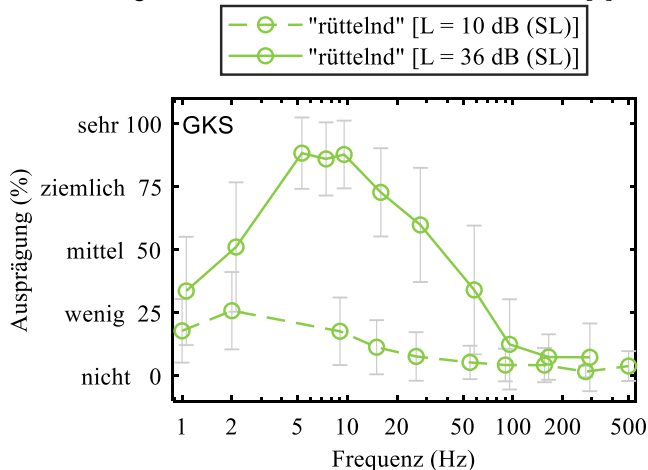


Abbildung 5: Ausprägung des dominant frequenzabhängigen Wahrnehmungsmerkmals *rüttelnd* für sinusoidale GKS aus [6]

Stimuli

Die HAS-Stimuli wurden so ausgewählt, dass sie möglichst vergleichbar zu den GKS-Stimuli [6] waren. Die Frequenzen der Stimuli waren identisch zu [6] gewählt. Aufgrund der Einschränkungen des Wiedergabesystems, betrug die untere Grenze jedoch 15 Hz. Die Beschleunigungspegel der Stimuli wurden ebenfalls relativ zur Fühlschwelle [1] festgelegt. Diese unterscheidet sich für HAS jedoch von GKS vor allem unterhalb von 100 Hz. In Abhängigkeit der Fühlschwelle, der Belastungsgrenze für einstündige Exposition [9] und den Eigenschaften konnte neben der 10 dB (Sensation Level, SL) Stufe statt 36 dB (SL) nur 26 dB (SL) präsentiert werden.

Zusätzlich zu den sinusoidalen Stimuli wurden amplitudenmodulierte (AM) sinusoidale Stimuli dargeboten. In den Grenzen des Wiedergabesystems für HAS orientierten sich diese Stimuli ebenfalls an [6]. Ein Überblick über die Stimuli ist in Abbildung 5 zu entnehmen.

Wiedergabesystem

Die Schwingungssignale wurden über einen elektrodynamischen Shaker dargeboten. Über einen hölzernen Griff wurden die HAS den Probanden dargeboten. Die Probanden saßen dabei neben dem Shaker. Die Griffposition wurde so gewählt, dass sich Unterarm im rechten Winkel zum Oberarm

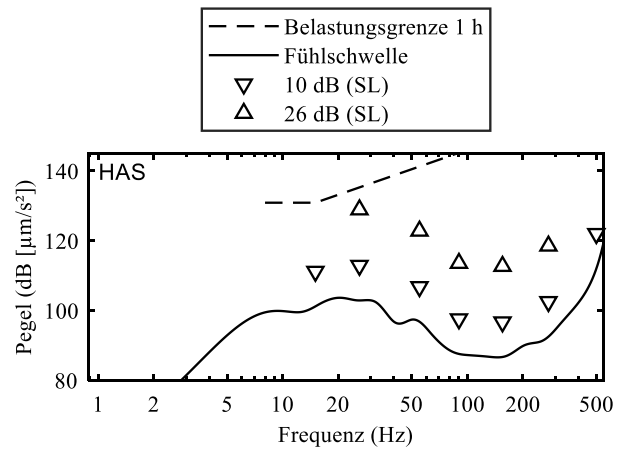


Abbildung 2: Übersicht der sinusoidale HAS-Stimuli, die für das Experiment ausgewählt wurden mit Fühlschwelle und Belastungsgrenze für einstündige Exposition

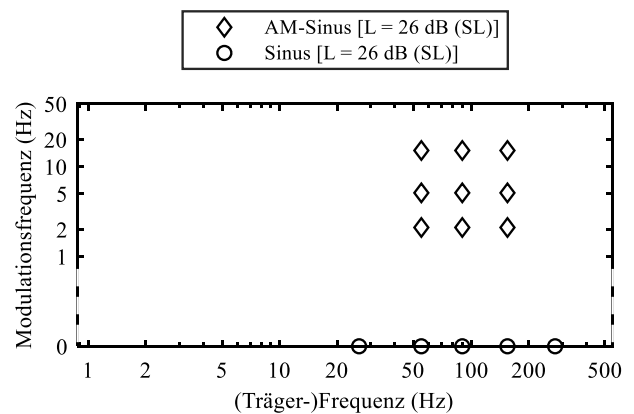


Abbildung 3: Übersicht der AM-sinusoidale HAS-Stimuli, die für das Experiment ausgewählt wurden.

befand und die Hand bequem auf dem Griff lag. Die Probanden sollten den Griff locker umschließen. Die probandenabhängige Übertragungsfunktion wurde mit Hilfe von Filtern kompensiert.

Versuchsdurchführung

Im Versuch wurden alle Stimuli dargeboten und es ein freies Interview durchgeführt. Die Aufgabenstellung des Versuchs lautete analog zu [6]: „Bitte nennen Sie die Begriffe, die Sie zur Beschreibung der folgenden Schwingungen benutzen würden. Dabei kommt es nicht darauf an wie stark oder schwach der Begriff ausgeprägt ist.“

Um die Anknüpfbarkeit an die vorherige Studie sicher zu stellen, konnten Probanden zusätzlich zu den eigenen Begriffen auch Begriffe von einer Liste, der in der vorherigen Studie [6] gefunden Begriffe, nennen. Alle Stimuli wurden zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten randomisiert dargeboten. Am Versuch nahmen 20 Probanden (13m, 7w) mit einem Durchschnittsalter von 37 Jahren (19 bis 67) teil.

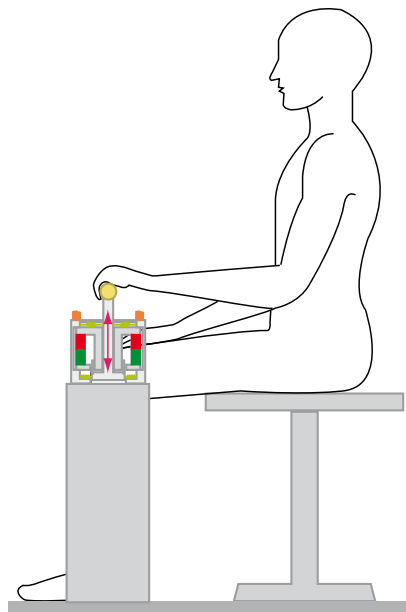


Abbildung 6: Die Stimuli wurden über einen elektro-dynamischen Shaker als vertikale Hand-Arm-Schwingungen präsentiert.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 52 unterschiedliche Wahrnehmungsmerkmale gefunden. Mit einem Thesaurus wurden Synonyme und Antonyme zusammengefasst. Die am häufigsten genannten Wahrnehmungsmerkmale sind wahrscheinlich für die meisten Probanden gut verständlich. Deswegen wurden alle Wahrnehmungsmerkmale, die bei einem Stimulus von mindestens 10% der Probanden genannt wurden, zur genaueren Betrachtung ausgewählt. Zusätzlich wurden die Begriffe die insgesamt in weniger als 2% der Bewertungen genannt, wurden verworfen. Die so resultierenden häufigsten Begriffe sind in Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1 Die häufigsten Begriffe, die im freien Interview für periodische HAS genannt wurden sind neben den häufigsten Begriffen für die Beschreibung von periodischen GKS dargestellt. Nennungen, die unter die definierte Häufigkeitsschwelle fallen würden, sind in Klammern dargestellt.

Wahrnehmungsmerkmale	Nennungen GKS	Nennungen HAS
schwach	259	53
kribbelnd	214	53
pulsierend	194	57
schlagend	189	127
summend	173	106
wackelnd	138	73
ruhig	133	97
ratternd	132	58
rauschend	109	36
holprig	92	62
brummend	87	71
rüttelnd	78	28
zitterig	77	34
wummernd	68	48
tickend	33	30
auf und ab	32	21
gleichmäßig	(30)	54
wabernd	(14)	21
schnell	(9)	31

Ausprägung der Wahrnehmungsmerkmale von sinusoidalen und (am-) sinusoidalen HAS

Zur Überprüfung der zweiten Hypothese, das heißt ob gleiche Stimulusparameter mit GKS vergleichbare Ausprägungen identischer Wahrnehmungsmerkmale bei HAS hervorrufen, wurde im Folgenden die Ausprägung der gefundenen Wahrnehmungsmerkmale in Abhängigkeit der präsentierten HAS bestimmt.

Versuchsdurchführung

Wieder wurde die Versuchsdurchführung an [6] angelehnt. Das heißt im zweiten Versuch wurden dieselben Stimuli wie im ersten Versuch dargeboten. Zwecks besserer Skalenausnutzung wurde vor dem Versuch ein Training mit den Extrema der Stimuli durchgeführt. Zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten wurden alle Stimuli randomisiert über das Wiedergabesystem dargeboten. Die Probanden nutzen zur Bewertung eine quasikontinuierliche Rohmannskala [10], die als MATLAB GUI implementiert wurde. Es nahmen 29 Laien (21m, 8w) mit einem durchschnittlichen Alter von 31 Jahren (20 bis 67) an diesem Versuch teil.

Ergebnisse

Ebenso wie bei GKS, zeigten sich die 3 Gruppen von Wahrnehmungsmerkmalen mit ähnlichen Ausprägungen.

1. Dominant pegelabhängige Attribute (z. B. *schwach*)
2. Dominant frequenzabhängige Attribute (z. B. *rüttelnd*)
3. Attribute deren Ausprägung sich durch Modulation stark verändert (z. B. *pulsierend*)

Die Ausprägung des Wahrnehmungsmerkmals schwach für HAS ist in Abbildung 8 zu sehen. Bei der paarweisen Vergleich der Ausprägungen von *schwach* bei HAS mit der Ausprägung bei GKS (Abbildung 2) zeigte sich ähnliche Bewertungen. Allerdings machte sich ein Abfall in der Ausprägung von *schwach* unterhalb von 50 Hz im Vergleich zu GKS bemerkbar. Der potentielle Grund dafür liegt in der niedrigeren Fühlschwelle von GKS (Abbildung 1) im Vergleich zu HAS (Abbildung 4). Wenn man Stimuli mit identischen Beschleunigungspegeln statt identischen Fühlschwellenpegeln (SL) präsentieren würde, könnte der Unterschied in der Ausprägung verschwinden. Da im Versuch jedoch sowohl bei HAS als auch bei GKS die Pegel relativ zur jeweiligen Fühlschwelle festgelegt, wurden sollte Überprüfung dieser Vermutung eine Interpolation basierend auf den erhobenen Versuchsdaten durchgeführt werden. Wenn man einen linearen Einfluss des Pegels auf die Ausprägung von *schwach* annimmt, lässt sich die Ausprägungen von *schwach* bei GKS durch Interpolation für die gleichen absoluten Beschleunigungspegel berechnen, die bei 26 dB (S) für HAS dargeboten wurden. Bei einem Vergleich der so transformierten Ausprägung für GKS mit der Ausprägung von HAS, wie in Abbildung 8 zu sehen, bestätigt sich die Hypothese mit Ausnahme bei 275 Hz.

Für die frequenzabhängigen Wahrnehmungsmerkmale zeigte sich ebenfalls eine vergleichbare Ausprägung für GKS (Abbildung 3) und HAS (Abbildung 9). Die paarweise

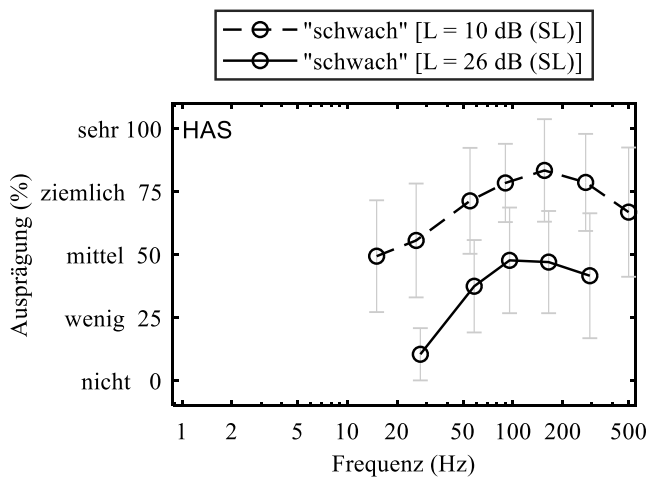


Abbildung 7: Übersicht der Ausprägung des dominant frequenzabhängigen Wahrnehmungsmerkmals *schwach* für sinusoidale HAS

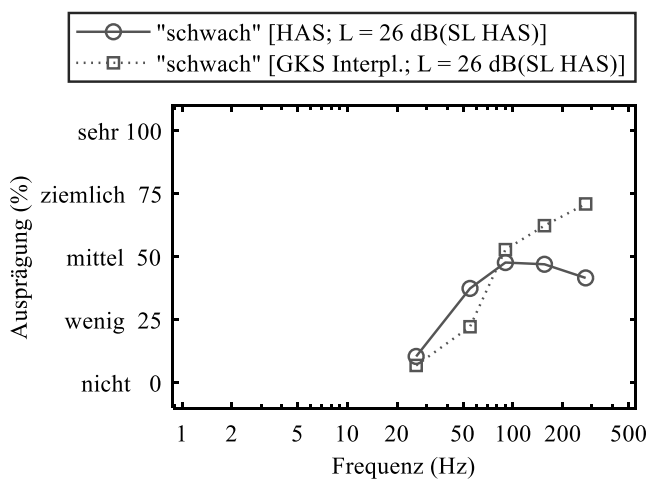


Abbildung 8: Die Mittelwerte der Ausprägung von *schwach* für GKS wurden auf einen Pegel von 26 dB (SL HAS) interpoliert. Sie approximieren die Mittelwerte der Ausprägungen für *schwach* für HAS für die Pegelstufe 26 dB (SL HAS).

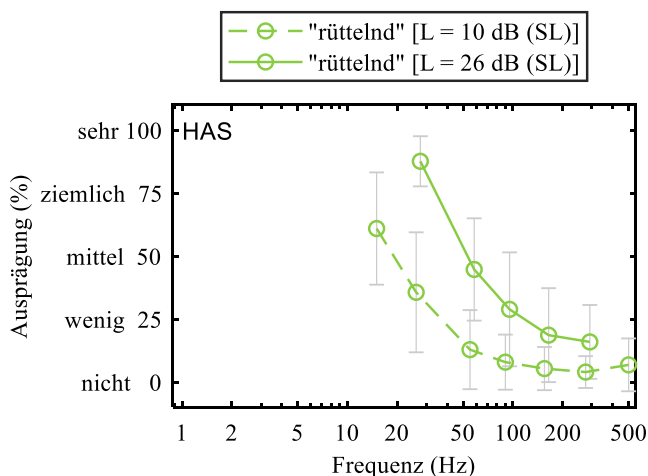


Abbildung 9: Übersicht der Ausprägung des dominant frequenzabhängigen Wahrnehmungsmerkmals *rüttelnd* für sinusoidale HAS. Ähnlichkeit der Ausprägungen desselben Wahrnehmungsmerkmals bei HAS und bei GKS zeigte sich auch für alle anderen untersuchten Wahrnehmungsmerkmale.

Zusammenfassung

Zur Beschreibung von HAS lassen sich dieselben häufigsten Wahrnehmungsmerkmale wie für GKS finden. Die

Ausprägungen dieser Wahrnehmungsmerkmale sind für gleiche Vibrationsparameter weitestgehend vergleichbar. Geringfügige Unterschiede lassen sich durch die unterschiedlichen Fühlschwellen für GKS und HAS erklären. Diese Unterschiede verschwinden, wenn man Stimuli mit gleichem Beschleunigungspegel statt gleichem fühlswellenbezogenen Pegel (SL) vergleicht. Dieser Zusammenhang sollte in einem Versuch mit Stimuli mit identischen Beschleunigungspegeln für HAS und GKS verifiziert werden.

Die Beziehung zwischen GKS-Signal und der Ausprägung der jeweiligen Wahrnehmungsmerkmale bildet die Grundlage für Wahrnehmungsmodelle, welche zukünftig für Analyse und Synthese von GKS sowie HAS genutzt werden können.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Morioka and M. J. Griffin, "Absolute Thresholds for the Perception of Fore-And-Aft, Lateral, and Vertical Vibration at the Hand, the Seat, and the Foot.," *Journal of Sound and Vibration.*, vol. 314, pp. 357–370, 2008.
- [2] M. A. Bellmann, "Perception of Whole-Body Vibrations - From Basic Experiments to Effects of Seat and Steering Wheel Vibrations on the Passenger's Comfort Inside Vehicles," Universität Oldenburg, 2002.
- [3] S. Merchel, M. E. Altinsoy, and M. Stamm, "Just-Noticeable Frequency Differences for Whole-Body Vibrations.," in *Proceedings of Internoise 2011*, 2011.
- [4] R. Rosenkranz, M. E. Altinsoy, M. Stamm, and S. Merchel, "Nutzung von taktilen semantischen Informationen zur Synthese von plausiblen Ganzkörperschwingungen," in *DAGA 2013 - 39th German Annual Conference on Acoustics*, 2013.
- [5] M. E. Altinsoy, "Wahrnehmungsmerkmale von Ganzkörperschwingungen," *Lärmbekämpfung*, vol. 11, no. 1, 2016.
- [6] R. Rosenkranz, S. Gruschwitz, M. E. Altinsoy, and S. Merchel, "Nutzung von Wahrnehmungsmerkmalen zur Charakterisierung von amplitudenmodulierten sinusoidalen Ganzkörperschwingungen," in *DAGA 2017 - 43rd German Annual Conference on Acoustics*, 2017.
- [7] R. Rosenkranz, S. Gruschwitz, M. E. Altinsoy, and S. Merchel, "Wahrnehmungsmerkmale von breitbandigen Ganzkörperschwingungen im Vergleich zu sinusoidalen Ganzkörperschwingungen," in *DAGA 2016 - 42th German Annual Conference on Acoustics*, 2016.
- [8] R. Rosenkranz, S. Gruschwitz, M. E. Altinsoy, and S. Merchel, "Untersuchung der Pegelabhängigkeit von Wahrnehmungsmerkmalen von Ganzkörperschwingungen," in *DAGA 2015 - 41th German Annual Conference on Acoustics*, 2015.
- [9] M. J. Griffin, *Handbook of Human Vibration*. Academic press, 1990.
- [10] B. Rohrmann, "Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung," *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, vol. 107, no. 5, pp. 222–245, 1978.