

Untersuchung der Pegelabhängigkeit von Wahrnehmungsmerkmalen von Ganzkörperschwingungen

Robert Rosenkranz, Sebastian Gruschwitz, Ercan Altinsoy, Sebastian Merchel

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, 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) auf. Sobald z.B. der Fahrer eines Fahrzeugs das Gaspedal betätigt, werden Vibrationen erzeugt. Diese kann der Fahrer taktil u.a. über den Fahrzeugsitz wahrnehmen. Die spektralen und zeitlichen Strukturen von Schwingungssignalen spielen, ähnlich wie bei der Beurteilung von Hörereignissen, eine wichtige Rolle für die Beurteilung von GKS.

Die Erforschung der auditiven Wahrnehmung hat bereits große Aufmerksamkeit gefunden. Durch umfangreiche Wahrnehmungsexperimente konnten unter anderem für die Wahrnehmungsmerkmale Lautheit, Rauigkeit oder Schärfe Modelle erstellt werden. Solche Modelle ermöglichen es einerseits ein akustisches Signal auf die Ausprägung dieses Wahrnehmungsmerkmals zu analysieren, wie z. B. zur Messung der Lautheit. Andererseits kann bspw. beim Sounddesign damit ein akustisches Signal mit einer bestimmten Ausprägung dieses Wahrnehmungsmerkmals synthetisiert werden.

Das Wissen bezüglich der Ganzkörperschwingungswahrnehmung beschränkt sich im Wesentlichen auf grundlegende psychophysikalische Eigenschaften wie Föhlschwelle [1] [2], Just Noticeable Level Difference (JNDL) [3] oder Just Noticeable Frequency Difference [3] [4]. 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 vereinfacht werden. Diese Modelle ließen sich für Schwingungsdesign, bei der Gestaltung von Produkten oder der Generierung von Szenen für virtuelle Umgebungen [5] einsetzen, wo gezielt eine bestimmte Wahrnehmung beim Nutzer erzeugt werden soll.

Wahrnehmungsmerkmale von GKS

Wahrnehmungsmerkmale von GKS wurden bereits durch Altinsoy [6] untersucht. Er hat unter anderem Wahrnehmungsmerkmale für sinusoidale GKS-Signale in einem freien Interview ermittelt und in einem Wahrnehmungsexperiment ihre Korrelation mit einfachen Signalmustern überprüft. Der Pegel der präsentierten Signale lag dabei 10 dB über der Wahrnehmungsschwelle. In Abbildung 1 ist die Ausprägung der Wahrnehmungsmerkmale für sinusoidale Signale in Abhängigkeit deren Frequenz zu sehen. Eine Frequenzabhängigkeit der Wahrnehmungsmerkmale war deutlich zu

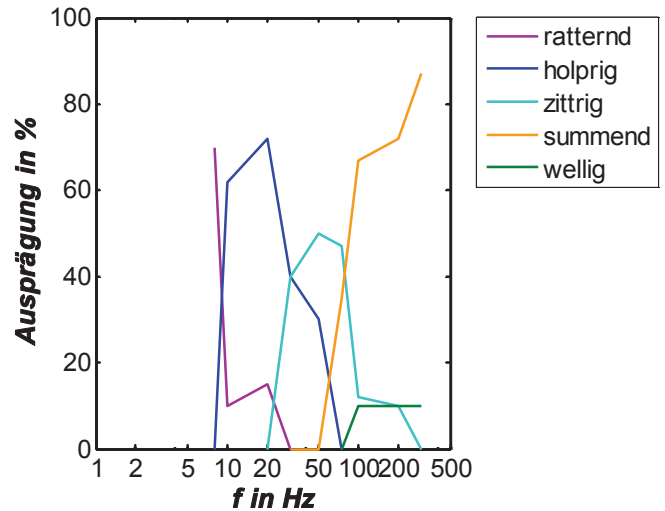


Abbildung 1: Frequenzabhängigkeit Wahrnehmungsmerkmale nach Altinsoy [6]

sehen. Mit steigender Frequenz wurden die GKS als ratternd, holprig, zittrig und summend bezeichnet.

Bisher konnte kein Rückschluss auf eine Pegelabhängigkeit abgeleitet werden, da in dieser Untersuchung nur ein Pegel verwendet wurde. Indizien, dass eine Pegelabhängigkeit existiert, wurden in [5] gefunden. Es waren zwei mögliche Hypothesen denkbar.

1. Die Pegelabhängigkeit lässt sich durch ein zusätzliches frequenzunabhängiges Wahrnehmungsmerkmal beschreiben, was in der bisherigen Untersuchung nicht gefunden wurde
2. Die Pegelabhängigkeit ist implizit in den Ausprägungen der bereits gefundenen Wahrnehmungsmerkmalen enthalten

Erweiterung der Wahrnehmungsmerkmale von GKS

Stimuli

Diese Hypothesen sollten für sinusoidale GKS überprüft werden. Um mögliche weitere Wahrnehmungsmerkmale zu finden, die nur vom Signalpegel sind, musste zunächst ein freies Interview durchgeführt werden. In diesem wurden Probanden Stimuli, die sich nicht nur in der Frequenz sondern auch im Pegel unterschieden, präsentiert. Bei der Auswahl der Stimuli wurden psychovibratorische Forschungsergebnisse, wie Föhlschwelle [1] [2], JNDL [3], JNDF [3] [4] berücksichtigt. Es sollte möglichst der gesamte wahrnehmbare Frequenzbereich und der Pegelbereich zwischen Föhlschwelle und Belastungsgrenze [7] für

einstündige GKS-Exposition abgedeckt werden. Es wurden zwei Pegelstufen gewählt: 10 dB und 36 dB über Fühlschwelle (sensation level, SL). Die sich so ergebenden Stimuli sind in Abbildung 2 zu sehen.

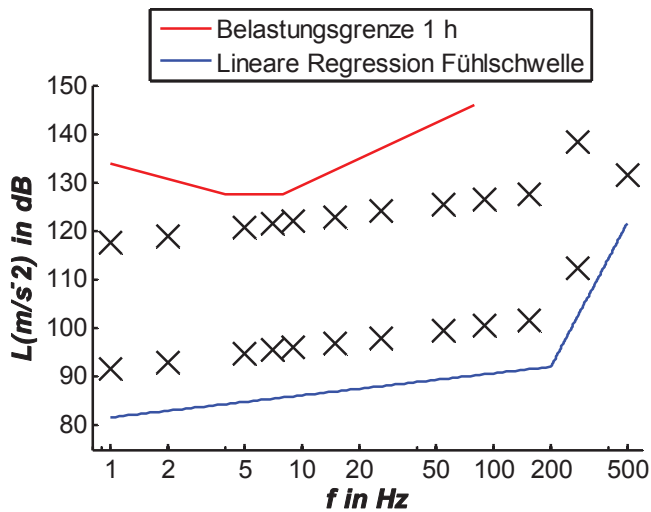


Abbildung 2: GKS-Stimuli, die für das Experiment ausgewählt wurden mit Fühlschwelle nach [1] [2] und Belastungsgrenze nach [7]

Wiedergabesystem

Die Schwingungssignale wurden im *Multimodalen Messlabor* des Lehrstuhls für Kommunikationsakustik [8] präsentiert, siehe Abbildung 3. Tieffrequente Vibrationen wurden vertikal über die Stewart-Plattform und hochfrequente Vibrationen vertikal über einen elektrodynamischen Shaker dargeboten. Aufgrund Limitierungen der Wiedergabesysteme war die Trennfrequenz zwischen den Geräten abhängig von Pegel der Stimuli. Stimuli mit 10 dB(SL) wurden ab 7Hz und Stimuli mit 36 dB(SL) ab 15Hz über den Shaker wiedergegeben. Die probandenabhängige Übertragungsfunktion des Wiedergabesystems wurde für jede Versuchsperson individuell entzerrt [9]. Die Geräusche der Wiedergabesysteme wurden akustisch durch rosa Rauschen maskiert.



Abbildung 3: Wiedergabesystem über das die GKS-Stimuli präsentiert wurden

Versuchsdurchführung

Zur Ermittlung der Wahrnehmungsmerkmale, die durch diese Stimuli hervorgerufen werden, wurde ein freies Interview durchgeführt. Die Aufgabenstellung des Versuchs lautete: „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 gefunden Begriffe, nennen. Alle Stimuli wurden zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten randomisiert dargeboten. Am Versuch nahmen 23 Probanden (15m, 8w) mit einem durchschnittlichen Alter von 35 Jahren (23 bis 71) teil.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 140 Wahrnehmungsmerkmale gefunden. Die am häufigsten genannten Wahrnehmungsmerkmale sind wahrscheinlich für die meisten Probanden gut verständlich. Deswegen wurden alle Wahrnehmungsmerkmale, die bei einem Stimulus von mindestens 20% der Probanden genannt wurden, zur genaueren Betrachtung ausgewählt. Die so resultierenden häufigsten 20 Begriffe sind in Abbildung 4 zu sehen.

schaukelnd	schüttelnd	schlagend	zittrig	summend
auf und ab	wackelnd	ruhig	hämmernd	kribbelnd
tickend	rüttelnd	wummernd	brummend	pulsierend
schwingend	ratternd	rauschend	vibrierend	schwach

Abbildung 4: Tabelle mit den häufigsten Begriffen, die im freien Interview genannt wurden

Bei 10dB(SL) wurden die Begriffe *schwach* und *ruhig* verstärkt genannt, jedoch bei 36dB(SL) nicht. Alle anderen Wahrnehmungsmerkmale wurden im Wesentlichen bei beiden Pegelstufen genannt. Zur Überprüfung ob die Pegelabhängigkeit zusätzlich implizit in den anderen Wahrnehmungsmerkmalen enthalten ist, musste die Ausprägung der Wahrnehmungsmerkmale in Abhängigkeit des präsentierten Stimulus in einem 2. Versuch ermittelt werden.

Untersuchung der Pegelabhängigkeit der Wahrnehmungsmerkmale von GKS

Versuchsdurchführung

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 Rohrmannskala [10], die als MATLAB GUI (siehe Abbildung 5) implementiert wurde. Es nahmen 34 Probanden (23m, 11w) mit einem durchschnittlichen Alter von 35 Jahren (16 bis 74) an diesem Versuch teil.

Bitte bewerten Sie die Ausprägung folgender Eigenschaften!

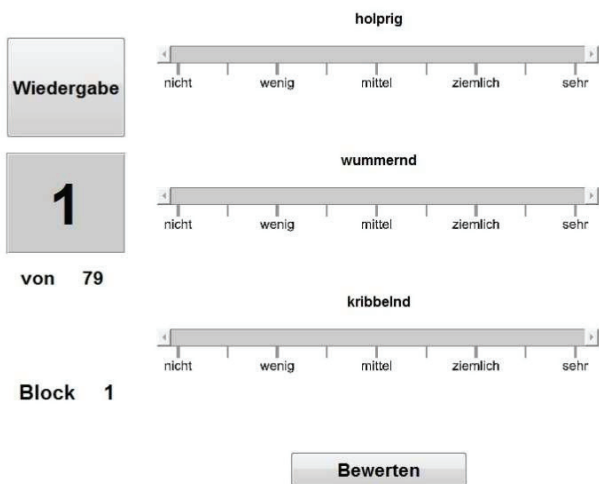


Abbildung 5: MATLAB GUI zur Bewertung der Ausprägung der Wahrnehmungsmerkmale

Ergebnisse

Die Pegelabhängigkeit des Wahrnehmungsmerkmals *schwach*, die sich aufgrund der Ergebnisse des ersten Versuchs vermuten ließ, konnte im 2. Versuch bestätigt werden. Die Ausprägung des Wahrnehmungsmerkmals *schwach* ist in Abbildung 6 zu sehen. Es ist zu erkennen, dass die Ausprägung stark pegelabhängig ist. Das Wahrnehmungsmerkmal ist jedoch vor allem im Vergleich zu den anderen Wahrnehmungsmerkmalen (siehe Abbildung 7) weitgehend frequenzunabhängig. Hohe Frequenzen werden bei gleichem Pegel über der Föhlschwelle als tendenziell schwächer empfunden.

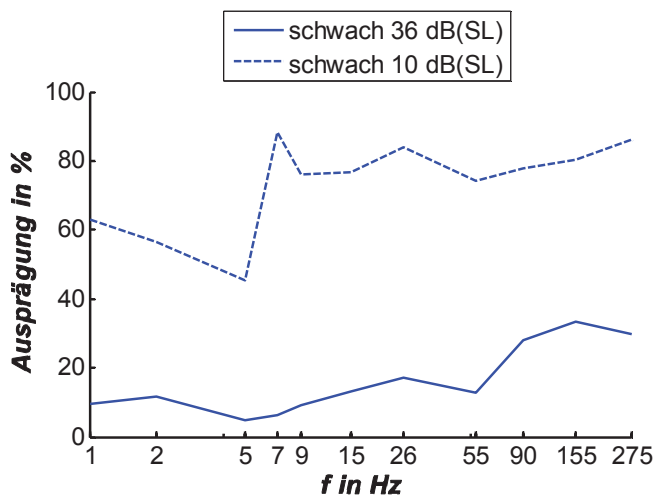


Abbildung 6: Stark pegelabhängige Ausprägung des Wahrnehmungsmerkmals *schwach*

Die Pegelabhängigkeit ist aber auch implizit in den Ausprägungen der bereits gefundenen Wahrnehmungsmerkmale enthalten. Dies ist exemplarisch für 3 Wahrnehmungsmerkmale in Abbildung 7 dargestellt. Die anderen Wahrnehmungsmerkmale zeigen ähnliche Verläufe. Jedes der Wahrnehmungsmerkmale hat ein frequenzabhängiges Maximum. Der Ausprägungsverlauf ist für beide Pegelstufen ähnlich, unterscheidet sich jedoch in der Höhe der Ausprägung dieses Maximums.

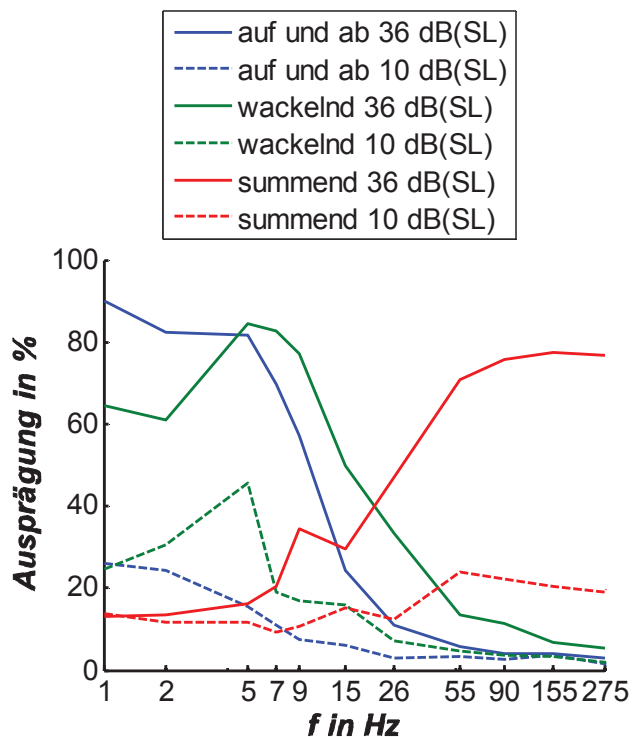


Abbildung 7: Ausprägung der pegel- und frequenzabhängigen Wahrnehmungsmerkmale *auf und ab*, *wackelnd*, *summend*

Zusammenfassung

Es gibt ein Wahrnehmungsmerkmal für GKS ("schwach") dessen Ausprägung pegelabhängig aber kaum frequenzabhängig ist. Die Wahrnehmungsmerkmale von GKS, deren frequenzabhängige Ausprägung bereits bekannt war, sind ebenfalls pegelabhängig. Die Beziehung zwischen GKS-Signal und der Ausprägung der jeweiligen Wahrnehmungsmerkmale könnte für Analyse & Synthese von GKS genutzt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Morioka und 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.*, Bd. 314, pp. 357-370, 2008.
- [2] A. Schwendicke, M. E. Altinsoy und S. Merchel, „Die Grenzen der Wahrnehmung - Föhlschwellen für Ganzkörperschwingungen bei hohen Frequenzen,“ in *DAGA 2015 - 41th German Annual Conference on Acoustics*, 2015.
- [3] 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.“ 2002.
- [4] S. Merchel, M. E. Altinsoy und M. Stamm, „Just-Noticeable Frequency Differences for Whole-Body Vibrations.“ in *Proceedings of Internoise 2011*, 2011.
- [5] R. Rosenkranz, M. Altinsoy, M. Stamm und S. Merchel, „Nutzung von taktilen semantischen Informationen zur Synthese von plausiblen Ganzkörperschwingungen,“ in *DAGA 2013 - 39th German Annual Conference on Acoustics*, 2013.

- [6] M. Altinsoy, „Wahrnehmungsmerkmale von Ganzkörperschwingungen,“ in *DAGA 2010 - 36th German Annual Conference on Acoustics*, 2010.
- [7] ISO2631, „Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration,“ Geneva, Switzerland, 1978.
- [8] M. E. Altinsoy, U. Jekosch, J. Landgraf und S. Merchel, „Progress in Auditory Perception Research Laboratories—Multimodal Measurement Laboratory of Dresden University of Technology,“ in *Audio Engineering Society Convention 129*, 2010.
- [9] M. E. Altinsoy und S. Merchel, „BRTF (Body-Related Transfer Function) and Whole-Body Vibration Reproduction Systems,“ in *Audio Engineering Society Convention 130*, 2011.
- [10] B. Rohrmann, „Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung,“ *Zeitschrift für die sozialwissenschaftliche Forschung*, Bd. 3, pp. 222-245, 1978.