

# Charakteristische Empfindungen bei sinusförmigen Ganzkörpervibrationen

Alice Hoffmann, Jesko Verhey, Reinhard Weber

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Physik, Akustik/Neuroakustik,  
26111 Oldenburg, Deutschland, Email: alice.hoffmann@uni-oldenburg.de

## Einleitung

In vielen Situationen ist der menschliche Körper Schwingungen ausgesetzt. Die Wahrnehmung von Schwingungen wird für verschiedene Frequenzbereiche unterschiedlich beschrieben.

Der Gegenstand dieser Untersuchung sind die verschiedenen durch Ganzkörperschwingungen hervorgerufenen Wahrnehmungen in Abhängigkeit von der Anregungsfrequenz. Hierzu wurden zwei Versuche durchgeführt.

In dem ersten Versuch werden Begriffe für die wahrgenommenen Empfindungen gesammelt. Im zweiten Versuch wird die Ausprägtheit dieser empfindungsbezeichnenden Begriffe für vier charakteristische Schwingungsfrequenzen bewertet.

## Verwendete Vibrationsplattform

Die Vibrationsplattform besteht zur Minimierung der Schallabstrahlung aus einem Gitter, das von einem Shaker in z-Richtung auf und ab bewegt wird. Auf dem Gitter ist für die Probanden ein ungepolsterter Stuhl befestigt. Mit einem Beschleunigungssensor (A) unter der Sitzfläche (siehe Abb. 1) können die anregenden Beschleunigungsamplituden aufgezeichnet werden.

Die Anregungssignale werden mit Matlab erzeugt und vom Computer über einen DA-Wandler und einen Verstärker an den Shaker gegeben.

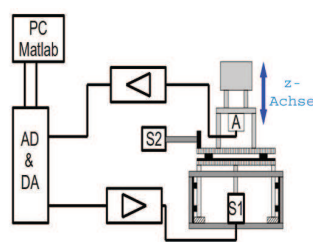


Abbildung 1: Foto und Skizze des Versuchsaufbaus

## Begriffssammlung im Sweep-Versuch

Um im Frequenzbereich von 1 Hz - 50 Hz Bezeichnungen für die wahrgenommenen Schwingungsphänomene zu gewinnen, wurden insgesamt 20 (untrainierte) Probanden mit einem kontinuierlichen, etwa eine Minute dauernden Sinus-Sweep angeregt.

Die Amplitude wurde so eingestellt, dass der jeweilige Proband die Schwingungen als gut wahrnehmbar empfand.

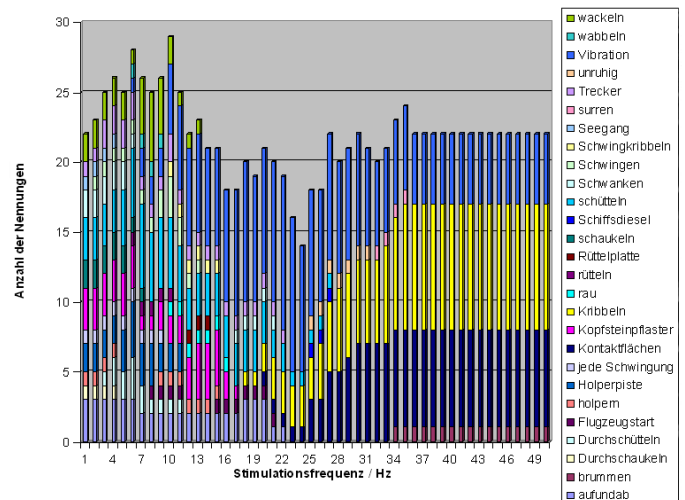


Abbildung 2: Empfindungen bei Schwingungsanregung im Sitzen: Die Anzahl der von Probanden genannten Begriffe ist über der Schwingungsanregungsfrequenz aufgetragen. Die Benennungen stammen von Probanden (N=20), die mit einem Sinus-Sweep von 1 Hz bis 50 Hz angeregt wurden

Während der Schwingungsanregung sollten die Probanden möglichst kontinuierlich und frei ihre Empfindungen beschreiben. Die Beschreibungen wurden in einem 1 Hz-Raster vom Versuchsleiter dokumentiert.

Abbildung 2 zeigt, dass viele Begriffe sehr klar bestimmten Frequenzregionen zugeordnet werden können. Auffällig ist die hohe Anzahl von Benennungen im tiefen Frequenzbereich. Bei hohen Frequenzen wurden zwar nur sehr wenige Begriffe verwendet, diese dafür aber von vielen Personen. In dem Anregungsfrequenzbereich zwischen 22 Hz und 25 Hz wurden auffallend wenig Begriffe genannt.

Eine Faktorenanalyse (varimaxrotiert) über die Frequenzen zeigt, dass sich verschiedene zusammenhängende Frequenzbereiche durch verschiedene Faktoren beschreiben lassen. (Abb.3) Die blasser gefärbten Werte weisen darauf hin, dass benachbarte Frequenzbereiche etwas überlappen.

## Wahrnehmungsdimensionen bei sinusförmiger Schwingungsanregung

Bei den schwingungsanregenden Frequenzen 8 Hz, 16 Hz, 24 Hz und 40 Hz wurden Begriffe für die hervorgerufenen Empfindungen gesammelt.

Diese Begriffe wurden dann in einem semantischen Differential zur Messung der Ausprägung der Empfindungen verwendet (15 Probanden).

Frequenzen	Faktoren					
	1	2	3	4	5	6
40Hz	0,949	0,068	0,014	-0,110	-0,101	-0,166
36Hz	0,949	0,068	0,014	-0,110	-0,101	-0,166
32Hz	0,949	0,068	0,014	-0,110	-0,101	-0,166
28Hz	0,949	0,068	0,014	-0,110	-0,101	-0,166
24Hz	0,949	0,068	0,014	-0,110	-0,101	-0,166
20Hz	0,949	0,068	0,014	-0,110	-0,101	-0,166
18Hz	0,933	0,101	0,038	-0,091	-0,138	-0,179
16Hz	0,923	0,146	0,036	-0,074	-0,125	-0,162
14Hz	0,889	0,249	0,028	-0,040	-0,100	-0,130
12Hz	0,866	0,305	0,024	-0,023	-0,088	-0,114
11Hz	0,796	0,478	-0,027	-0,035	-0,101	-0,123
10Hz	0,762	0,536	-0,003	0,010	-0,113	-0,130
9Hz	0,724	0,583	0,001	0,022	-0,105	-0,123
8Hz	0,684	0,623	0,010	0,032	-0,097	-0,112
7Hz	0,241	0,844	0,270	0,009	-0,116	-0,153
6Hz	0,328	0,830	0,184	0,048	-0,111	-0,136
5Hz	0,222	0,762	0,440	0,045	-0,055	-0,110
4Hz	0,514	0,740	0,086	0,024	-0,139	-0,156
3Hz	0,174	0,885	0,561	0,048	-0,029	-0,150
2Hz	-0,033	0,115	0,889	0,309	-0,011	-0,055
1Hz	0,042	0,209	0,896	0,252	-0,012	-0,063
40Hz	-0,046	0,091	0,877	0,362	-0,037	-0,073
36Hz	0,050	0,445	0,803	0,064	-0,071	-0,168
32Hz	-0,048	0,036	0,735	0,530	-0,047	-0,040
28Hz	0,125	0,578	0,683	0,092	-0,028	-0,134
24Hz	-0,091	0,044	0,169	0,937	-0,034	-0,033
20Hz	-0,072	0,054	0,194	0,931	-0,002	-0,013
18Hz	-0,068	0,044	0,230	0,914	-0,059	-0,050
16Hz	-0,062	0,014	0,316	0,881	-0,052	-0,048
14Hz	-0,130	0,005	0,084	0,795	0,297	-0,085
12Hz	-0,008	0,014	0,556	0,719	-0,002	0,030
11Hz	-0,230	-0,035	-0,010	0,670	0,478	-0,107
10Hz	-0,192	-0,110	-0,023	0,044	0,920	0,078
9Hz	-0,222	-0,110	-0,108	0,179	0,870	-0,037
8Hz	-0,179	-0,110	0,011	-0,010	0,822	0,308
7Hz	-0,228	-0,119	-0,088	-0,052	0,022	0,933
6Hz	-0,240	-0,123	-0,093	-0,071	0,024	0,929
5Hz	0,202	-0,112	-0,074	-0,020	0,056	0,921
4Hz	-0,196	-0,113	-0,066	-0,009	0,013	0,910
3Hz	-0,223	-0,122	-0,072	-0,082	0,187	0,943
2Hz	-0,219	-0,106	-0,070	-0,104	0,557	0,906
% Varianzen	27,522	12,941	13,11	14,213	7,891	12,668

Abbildung 3: Ergebnis der Faktorenanalyse aus den genannten Begriffen der 20 Probanden über die Frequenzen von 1 Hz bis 40 Hz. Die kräftigen Farben verdeutlichen die Zuordnung der Frequenzen in die verschiedenen Faktoren. Die blasseren Farben weisen auf eine gewisse Ladung auf einen (auch im Frequenzbereich) benachbarten Faktor hin. In der untersten Zeile sind die durch die einzelnen Faktoren aufgeklärten Varianzanteile angegeben.

Auf einer siebenstufigen Skala von „trifft zu“ bis zu „trifft nicht zu“ sollten die Probanden ankreuzen, in wie weit die wahrgenommenen Empfindungen mit den einzelnen Begriffen adäquat beschrieben werden. Die sinusförmigen Anregungssignale dauerten jeweils 10 s.

Die Beurteilungen der Probanden werden mit einer Faktorenanalyse (varimaxrotiert) ausgewertet (Abbildung 4).

Begriffe	Faktoren		
	1	2	3
schwanken	0,791	-0,03	0,014
kribbeln	-0,744	-0,347	0,264
schwabbeln	0,734	0,269	0,006
wackeln	0,706	0,308	-0,003
vibrieren	-0,687	-0,066	0,354
schaukeln	0,657	0,307	0,099
unangenehm	0,436	0,137	0,211
holpern	0,207	0,726	0,074
Kopfsteinflaster	0,038	0,701	-0,16
schütteln	0,471	0,662	0,089
Holperpiste	0,196	0,644	0,139
schwingen	0,526	0,642	0,013
unruhig	0,171	-0,03	0,849
rau	-0,302	-0,481	0,617
% Varianz	28,77	20,185	11,383

Abbildung 4: Faktorenladungen der Items des semantischen Differentials (15 Probanden). In der untersten Zeile sind die prozentualen Varianzen der verschiedenen Faktoren angegeben.

Auf dem ersten Faktor laden Begriffe, die eher gleichmäßige Bewegungen beschreiben.

Die Begriffe mit positivem Vorzeichen beschreiben überwiegend Empfindungen bei tiefen Frequenzen, die mit negativem Vorzeichen charakterisieren Empfindungen bei hohen Frequenzen.

Auf dem zweiten Faktor lädt eine Gruppe von Begriffen, die bei Anregungen im tieffrequenten Bereich verwendet werden und die allesamt eher ungleichmäßige Bewegungen charakterisieren.

Auf den dritten Faktor laden Begriffe „unruhig“ und „rau“, die nicht frequenzspezifisch verwendet werden.

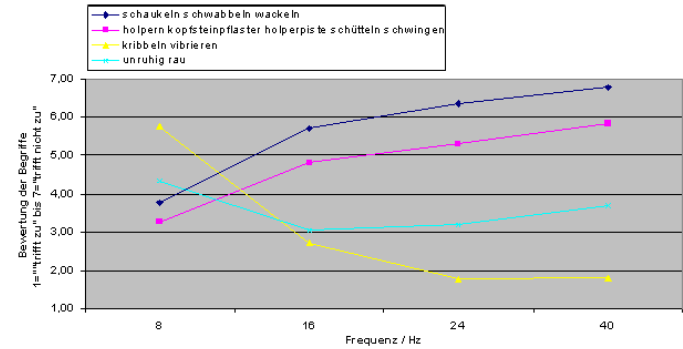


Abbildung 5: Mittelwerte der den einzelnen Faktoren zugeordneten Begriffe als Funktion der Anregungsfrequenzen, wobei 1: „trifft zu“ und 7: „trifft nicht zu“ entspricht.

Die frequenzabhängige Dominanz der einzelnen Faktoren ist in Abbildung 5 illustriert.

Für den ersten Faktor gilt, dass die Ausprägung der Begriffe „kribbeln“ und „vibrieren“ gegenläufig zur Ausprägung der Begriffe „schaukeln“ „schwabbeln“ und „schwanken“ ist. Die Begriffe des zweiten Faktors treffen auch für höhere Frequenzen noch besser zu als die Begriffe des ersten Faktors mit positivem Vorzeichen. Die Begriffe „unruhig“ und „rau“ sind in allen Frequenzbereich ähnlich ausgeprägt.

### Zusammenfassung

- Anhand ihrer Bezeichnungen lassen sich spezifische Empfindungen, die bei einer Anregung von Ganzkörpervibrationen im Laufe eines sinusförmigen Frequenzsweeps wahrgenommen werden, einzelnen Frequenzbereichen zuordnen.
- Die Begriffe zur Bezeichnung der Empfindungen lassen sich in Gruppen aufteilen, die entweder eher gleichmäßige Bewegungen beschreiben oder eher ungleichmäßige. Die Verwendung dieser Begriffe erfolgt anregungsfrequenzabhängig.
- Es gibt nur wenige Begriffe ohne deutliche Frequenzabhängigkeit.