

Mechanische Eingangsimpedanzen und Übertragungsfunktionen des menschlichen Körpers

DIN
45676

ICS 13.160

Ersatz für
DIN 45676:1992-11

Mechanical impedances at the driving point and transfer functions of the human body

Impédances d'entrée mécaniques et fonctions de transmission du corps humain

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweisungen.....	3
3 Begriffe	3
4 Typischer Frequenzverlauf der Impedanz und der scheinbaren Masse des sitzenden Menschen bei vertikaler Schwingungserregung.....	4
4.1 Allgemeines.....	4
4.2 Impedanz des sitzenden Menschen für eine mittlere Körpermasse von 75 kg	5
4.3 Impedanz des sitzenden Menschen für eine mittlere Körpermasse von 55 kg	7
4.4 Impedanz des sitzenden Menschen für eine mittlere Körpermasse von 98 kg	9
4.5 Scheinbare Masse des sitzenden Menschen für die mittleren Körpermassen 55 kg, 75 kg und 98 kg.....	11
5 Mittlere Übertragungsfunktion zum Kopf des sitzenden Menschen bei vertikaler Schwingungseinwirkung über das Gesäß	11
Anhang A (informativ) Eingangsimpedanz, scheinbare Masse und Übertragungsfunktion des stehenden Menschen bei vertikaler Schwingungsbelastung.....	14
Anhang B (informativ) Schwingungsmodelle zur Nachbildung der Impedanz des sitzenden Menschen für 55 kg, 75 kg und 98 kg Körpermasse.....	20
Anhang C (informativ) Berechnung der mittleren Übertragungsfunktion des sitzenden Menschen vom Gesäß zum Kopf	25
Literaturhinweise	27

Fortsetzung Seite 2 bis 28

Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

Vorwort

Die vorherige Ausgabe der vorliegenden Norm war im November 1992 veröffentlicht worden. In der Zwischenzeit wurde von der International Organization for Standardization (ISO) die Internationale Norm ISO 5982:2001 erarbeitet und am 2002-04-01 in berichteter Version herausgegeben, wobei auch Ergebnisse von neueren Untersuchungen einbezogen wurden. Es lag daher nahe, bei der vorliegenden Neufassung von DIN 45676 wesentliche Inhalte von ISO 5982 zu berücksichtigen. Unverändert aus ISO 5982 übernommen wurden die Mittelwertkurven und die Standardabweichung für den Betrag und die Phase der Eingangsimpedanz sowie die Übertragungsfunktion des sitzenden Menschen mit 75 kg Körpermasse für die vertikale Schwingungsrichtung.

Diese Norm ist vom Gemeinschaftsausschuss NALS/VDI C 7 „Schwingungseinwirkung auf den Menschen“ erarbeitet worden.

Änderungen

Gegenüber DIN 45676:1992-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) neue Impedanzkurven für den sitzenden Menschen mit 75 kg Körpermasse festgelegt, die mit denjenigen in ISO 5982:2001 identisch sind;
- b) neue Impedanzkurven für den sitzenden Menschen mit 55 kg und 98 kg Körpermasse festgelegt;
- c) Zahlenwerttabellen der Impedanzkurven für Terzmittenfrequenzen hinzugefügt;
- d) Zahlenwerttabellen der scheinbaren Masse für Terzmittenfrequenzen hinzugefügt;
- e) neue analytische Schwingungsmodelle aufgenommen;
- f) neue, einfacher zu realisierende Schwingungsmodelle aufgenommen;
- g) Impedanz und Übertragungsfunktion des stehenden Menschen mit Erläuterungen zum aktuellen Kenntnisstand als informativen Anhang aufgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN 45676: 1987-09, 1992-11

1 Anwendungsbereich

Diese Norm enthält mittlere mechanische Eingangsimpedanzen und Übertragungsfunktionen des sitzenden und stehenden Menschen sowie Schwingungsmodelle des sitzenden Menschen. Die mechanische Eingangsimpedanz, die Übertragungsfunktion und die mathematischen Schwingungsmodelle können der rechnerischen Auslegung von Mensch-Maschine-Systemen mit dem Ziel dienen, die Schwingungsbelastung des Menschen zu minimieren. Die mathematischen Schwingungsmodelle können als Grundlage für den Bau von Ersatzsystemen dienen, die die oben genannten Schwingungseigenschaften des Menschen im vorgegebenen Frequenzbereich hinreichend genau nachbilden und für Prüfzwecke (z. B. bei schwingungsisolierenden Fahrersitzen) eingesetzt werden können.

Die mechanische Eingangsimpedanz und die Übertragungsfunktion sind abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Menschen und seiner Körperhaltung sowie von Art und Richtung der Schwingungseinwirkung. Die mechanische Eingangsimpedanz ist als Ganzkörperimpedanz definiert; die Übertragungsfunktion wird angegeben für die über Gesäß oder Füße auf den Kopf eingeleiteten Schwingungen. Der Wertebereich dieser Norm gilt für sitzende und stehende Personen auf einer harten Platte (im Sitzen mit abgestützten Füßen in aufrechter Haltung ohne Nutzung einer Rückenlehne). Die Werte sind definiert über einen Frequenzbereich von (0,5 Hz) 1 Hz bis 20 Hz für Personen mit Körpermassen im Bereich von 49 kg bis 103 kg, die gegenüber harmonischen oder breitbandigen stochastischen Ganzkörper-Schwingungen mit einer Intensität kleiner oder gleich einem unbewerteten Effektivwert von $0,5 \text{ m/s}^2$ exponiert sind. Die Frequenz- und Amplitudencharakteristika der Ganzkörper-Schwingungen entsprechen denen, die beim Fahren von Maschinen, wie z. B. landwirtschaftlichen Traktoren, Erdbaumaschinen und Gabelstaplern,

wirksam werden. Die Anwendbarkeit der Norm auf Pkw ist gegenwärtig aufgrund einer unzureichenden Datenbasis für die beim Autofahren auftretenden Expositionen und Haltungen nicht gegeben.

Entsprechend DIN EN 30326-1 werden Mittelwerte und die Bereiche der einfachen Standardabweichungen der Werte von Betrag und Phase der mechanischen Impedanz für sitzende Personen auch für Personen-gruppen mit mittleren Körpermassen von 55 kg und 98 kg angegeben.

Bei Schwingungsberechnungen, die die dynamische Belastung einer Struktur mit dem menschlichen Körper berücksichtigen, sind die in dieser Norm angegebenen Impedanzwerte zu verwenden. Für die allgemeine mechanische Modellierung des Menschen sind die in dieser Norm enthaltenen Impedanzwerte als Zielwerte zu betrachten. Die Impedanz von Schwingungsmodellen des menschlichen Körpers soll im Bereich der Standardabweichung liegen.

Die Impedanzkurven und die Schwingungsmodelle des sitzenden Menschen gestatten beim Entwurf von Arbeitsmaschinen die Berechnung von Aussagen über die Schwingungsbelastung des Menschen schon in der Entwicklungsphase, in der noch kein Prototyp zur Verfügung steht.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur dann zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

DIN EN 30326-1, *Mechanische Schwingungen — Laborverfahren zur Bewertung der Schwingungen von Fahrzeugsitzen — Grundlegende Anforderungen* (ISO 10326-1:1992); *Deutsche Fassung EN 30326-1:1994*.

ISO 5805, *Mechanical vibration and shock — Human exposure — Vocabulary*.

ISO 5982:2001 (berichtigte Version 2002-04-01), *Mechanical vibration and shock — Range of idealized values to characterize seated-body biodynamic response under vertical vibration*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in ISO 5805 angegebenen und die folgenden Begriffe.

3.1

mechanische Eingangsimpedanz

$Z(f)$

von der Frequenz f abhängiges komplexes Verhältnis der Kraft $F(f)$ zur Schwinggeschwindigkeit $v(f)$ an der Einleitungsstelle in ein mechanisches System

$$Z(f) = \frac{F(f)}{v(f)} \quad (1)$$

ANMERKUNG 1 Der Betrag der mechanischen Eingangsimpedanz wird in $\text{N}/(\text{m/s}) = \text{Ns/m}$ angegeben. Die Phase (Phasenwinkel) ist der Phasenunterschied zwischen Schwinggeschwindigkeit und Kraft.

ANMERKUNG 2 Die mechanische Eingangsimpedanz wird im Folgenden nur Impedanz genannt. Bei der hier behandelten Impedanz des sitzenden bzw. stehenden Menschen ist stets die mechanische Eingangsimpedanz gemeint, bei der Kraft und Schwinggeschwindigkeit dieselbe Richtung haben.

ANMERKUNG 3 Diese Norm basiert auf Messungen, bei denen Kraft und Geschwindigkeit am Punkt der Schwingungseinleitung in den Körper gemessen werden.

ANMERKUNG 4 Bei nicht-harmonischen Schwingungen wird die Impedanz aus den Spektren von Kraft und Schwinggeschwindigkeit bestimmt.

3.2

scheinbare Masse

$M(f)$

von der Frequenz f abhängiges komplexes Verhältnis der Kraft $F(f)$ zur Schwingbeschleunigung $a(f)$ an der Einleitungsstelle in ein mechanisches System in derselben Richtung wie die Kraft

$$M(f) = \frac{F(f)}{a(f)} = -j \frac{Z(f)}{2\pi f} \quad (2)$$

ANMERKUNG 1 Die scheinbare Masse und die mechanische Impedanz sind in eindeutiger Weise miteinander verknüpft, da die Schwingbeschleunigung und die Schwinggeschwindigkeit bei harmonischer Bewegung in einem festen Verhältnis zueinander stehen. Zwischen den Bewegungsgrößen besteht eine Phasenverschiebung von 90° , sodass die scheinbare Masse und die mechanische Impedanz über einen Faktor, der $j = \sqrt{-1}$ enthält, ineinander umgerechnet werden können.

ANMERKUNG 2 Bei nicht-harmonischen Schwingungen wird die scheinbare Masse aus den Spektren von Kraft und Schwingbeschleunigung bestimmt.

3.3

Übertragungsfunktion zum Kopf

komplexes dimensionsloses Verhältnis der Antwortbewegung des Kopfes zur vibrationsbedingten Bewegung an der Erregerstelle in den Körper

$$H(f) = \frac{a_{\text{Kopf}}(f)}{a_{\text{Erregerstelle}}(f)} \quad (3)$$

ANMERKUNG 1 Das Verhältnis kann für Wege, Schwinggeschwindigkeiten oder Beschleunigungen gebildet werden.

ANMERKUNG 2 Bei nicht-harmonischen Schwingungen wird die Übertragungsfunktion zum Kopf aus den Spektren der Bewegungsgrößen bestimmt.

4 Typischer Frequenzverlauf der Impedanz und der scheinbaren Masse des sitzenden Menschen bei vertikaler Schwingungserregung

4.1 Allgemeines

Betrag und Phase der Impedanz für Personengruppen mit mittleren Körpermassen von 55 kg, 75 kg und 98 kg sind in den Bildern 1 bis 3 dargestellt. Die Standardabweichungen für die Mittenfrequenz jeder Bandbreite schließen die Mittelwerte aller ausgewählten Datensätze ein und sind durch dünne Linien dargestellt. Der gewichtete Mittelwert aus allen ausgewählten Datensätzen ist durch eine dicke Linie dargestellt und bildet die Zielgröße für alle Anwendungsfälle. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen können auch den Tabellen 1 bis 3 entnommen werden. Es ist zulässig, durch lineare Interpolation Werte bei Frequenzen zu berechnen, die nicht in den Tabellen aufgelistet sind.

Die Impedanzwerte sind anwendbar auf den sitzenden Menschen, der gegenüber harmonischen oder breitbandigen stochastischen Ganzkörper-Schwingungen exponiert ist, während er auf einer steifen, harten Oberfläche mit auf der Basisplatte abgestützten Füßen und nicht angelehntem Rücken sitzt. Die Grenzen der Anwendbarkeit entsprechen etwa dem Bereich der in 4.2 bis 4.4 genannten Messbedingungen.

Anwendungen (Modelle), deren Impedanzwerte bei jeder Frequenz im Bereich der Standardabweichungen liegen, entsprechen den Anforderungen dieser Norm und bilden das Schwingungsverhalten des sitzenden Menschen an der Einleitungsstelle unter den spezifizierten Bedingungen im Bereich zwischen (0,5 Hz) 1 Hz und 20 Hz nach. Wenn Anwendungen den Anforderungen dieser Norm nur für einige Frequenzen entsprechen, so ist dies in der Anwendungsbeschreibung zu vermerken.

In Anhang A wird auf die Problematik der Impedanz und der Übertragungsfunktion des stehenden Menschen eingegangen.

4.2 Impedanz des sitzenden Menschen für eine mittlere Körpermasse von 75 kg

Die aus einer Vielzahl von Messergebnissen ermittelten mittleren Frequenzgänge des Betrages und der Phase der Impedanz des sitzenden Menschen sowie die Standardabweichungen wurden aus ISO 5982 übernommen und in Bild 1 eingetragen. Unter Berücksichtigung der Untersuchungen von Greil, H., (1988) lässt sich diese mittlere Impedanzkurve der Personengruppe mit einer mittleren Körpermasse von 75 kg zuordnen.

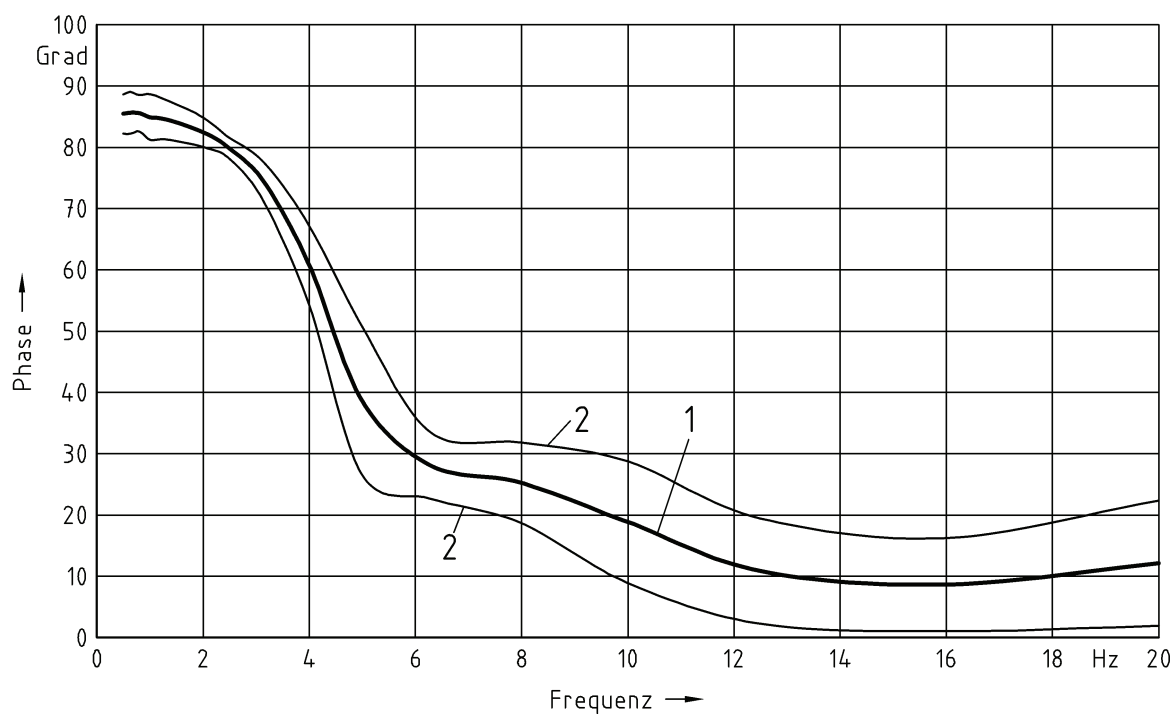
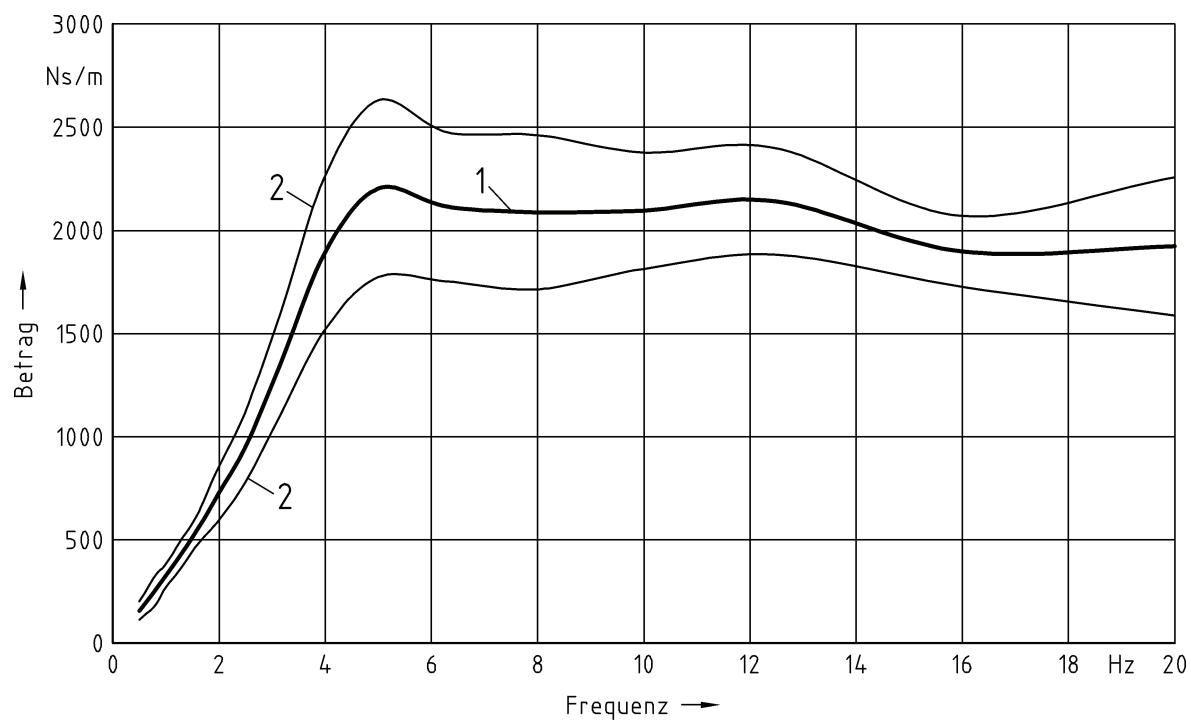
Messbedingungen:

- Ergebnisse von 101 Personen mit Körpermassen im Bereich von 49 kg bis 93 kg;
- unbewertete Effektivwerte der harmonischen und stochastischen Schwingungen zwischen $0,5 \text{ m/s}^2$ und $3,0 \text{ m/s}^2$ mit dominanten Frequenzanteilen im Bereich von 0,5 Hz bis 20 Hz, frequenzbewertete Effektivwerte kleiner oder gleich 2 m/s^2 .

ANMERKUNG Die Datenquellen, aus denen die Werte der Bilder und Tabellen entnommen wurden, sind in ISO 5982:2001, Anhang A aufgelistet.

Tabelle 1 — Mittelwerte und Standardabweichungen s von Betrag und Phase der mittleren Impedanz des sitzenden Menschen in vertikaler Richtung für 75 kg Körpermasse

Frequenz Hz	Betrag Ns/m		Phase Grad	
	Mittelwert	s	Mittelwert	s
0,5	157	44	85,4	3,2
0,63	199	57	85,6	3,4
0,8	256	71	85,5	3,0
1	327	56	84,9	3,7
1,25	418	66	84,6	3,3
1,6	553	74	83,7	2,9
2	728	131	82,4	2,4
2,5	953	171	79,8	1,8
3,15	1349	246	74,2	3,2
4	1894	373	60,7	6,5
5	2201	428	38,6	12,1
6,3	2120	362	28,0	5,4
8	2088	373	25,2	6,6
10	2095	282	18,8	9,9
12,5	2139	258	10,8	8,6
16	1898	172	8,6	7,6
20	1922	335	12,1	10,2



Legende

- 1 Mittelwert
- 2 Standardabweichung

Bild 1 — Betrag und Phase sowie Standardabweichungen der Impedanz des sitzenden Menschen in vertikaler Richtung für 75 kg

4.3 Impedanz des sitzenden Menschen für eine mittlere Körpermasse von 55 kg

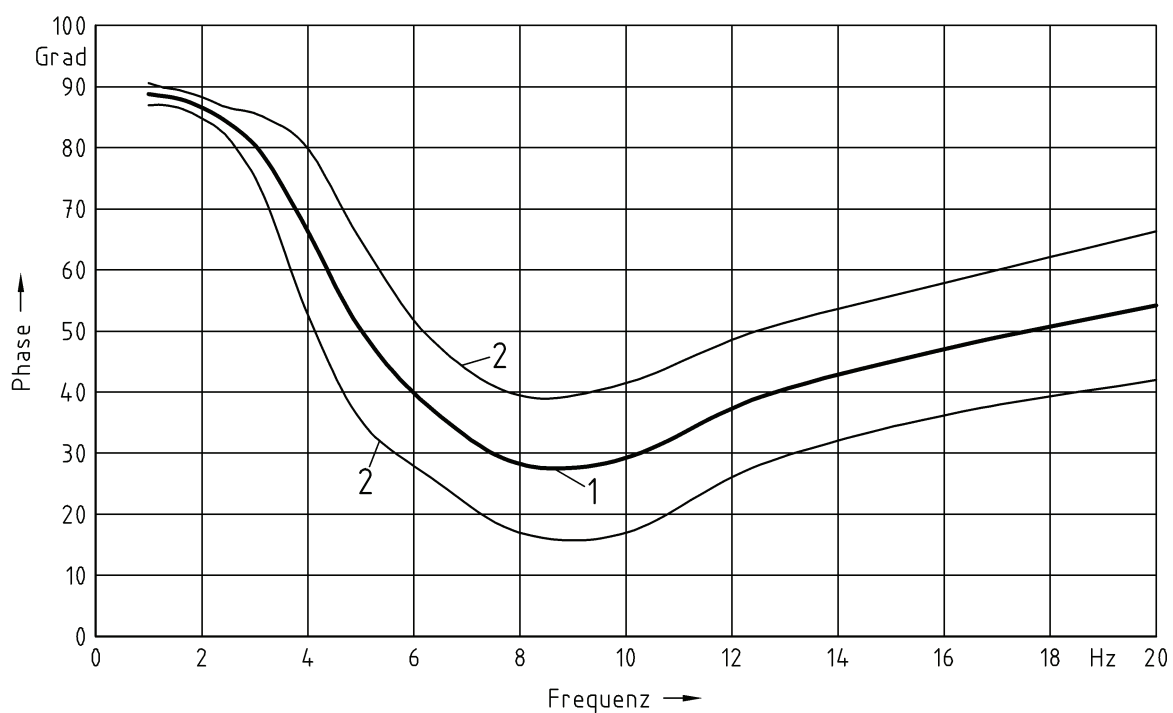
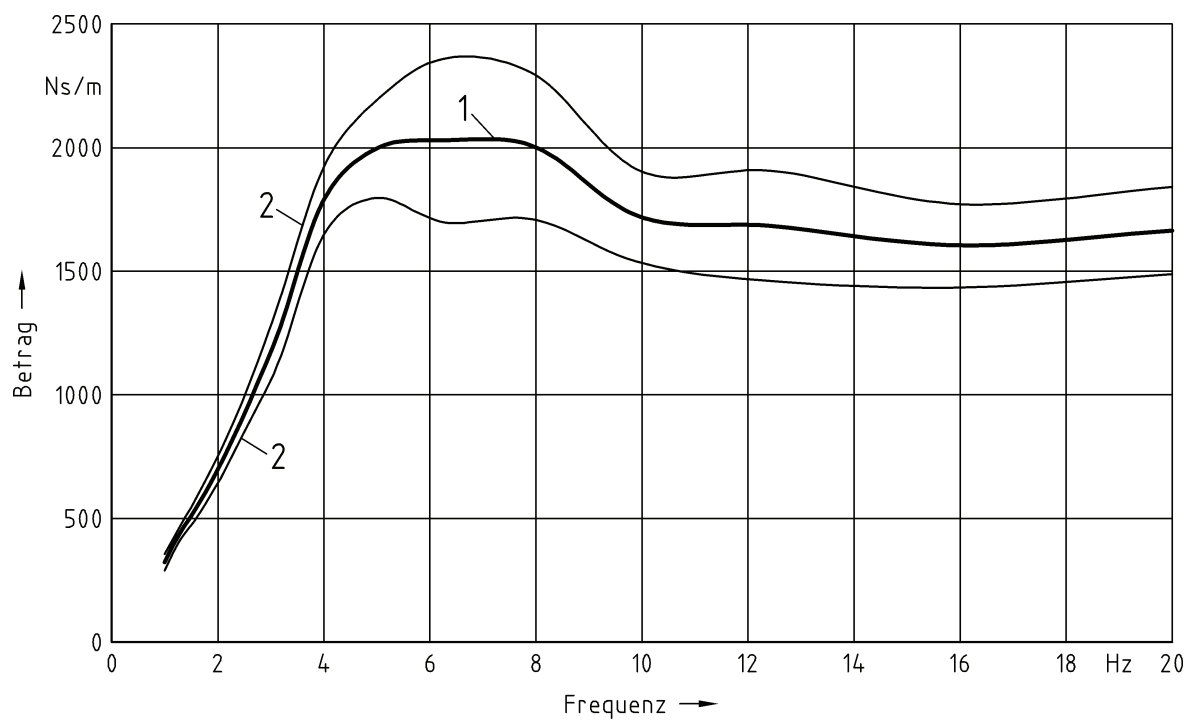
Der Betrag und die Phase der mechanischen Impedanz des sitzenden Menschen mit einer mittleren Körpermasse von 55 kg sind in Bild 2 als Funktion der Frequenz für die Anregung in vertikaler Richtung angegeben.

Messbedingungen:

- Ergebnisse von 18 Personen (Phasenmessung: neun Personen) mit Körpermassen im Bereich von 49 kg bis 60 kg;
- harmonische sowie praxisrelevante Schwingungen mit dominanten Frequenzanteilen im Bereich von 1 Hz bis 6 Hz, frequenzbewertete Effektivwerte kleiner oder gleich $1,49 \text{ m/s}^2$.

Tabelle 2 — Mittelwerte und Standardabweichungen s von Betrag und Phase der mittleren Impedanz des sitzenden Menschen in vertikaler Richtung für 55 kg Körpermasse

Frequenz Hz	Betrag Ns/m		Phase Grad	
	Mittelwert	s	Mittelwert	s
1	322	34	88,8	1,8
1,25	425	28	88,4	1,5
1,6	545	41	87,9	1,5
2	698	54	86,5	1,7
2,5	923	72	84,1	2,5
3,15	1254	118	78,8	6,3
4	1783	137	66,3	13,5
5	1993	198	50,1	14,7
6,3	2029	332	37,5	11,4
8	1999	292	28,2	11,2
10	1717	186	29,2	12,2
12,5	1682	223	39,0	11,1
16	1603	169	47,0	10,8
20	1663	177	54,2	12,1



Legende

- 1 Mittelwert
- 2 Standardabweichung

Bild 2 — Betrag und Phase sowie Standardabweichungen der Impedanz des sitzenden Menschen in vertikaler Richtung für 55 kg

4.4 Impedanz des sitzenden Menschen für eine mittlere Körpermasse von 98 kg

Der Betrag und die Phase der mechanischen Impedanz des sitzenden Menschen mit einer mittleren Körpermasse von 98 kg sind in Bild 3 als Funktion der Frequenz für die Anregung in vertikaler Richtung angegeben.

Messbedingungen:

- Ergebnisse von 14 Personen (Phasenmessung: drei Personen) mit Körpermassen im Bereich von 81 kg bis 106 kg;
- harmonische sowie praxisrelevante Schwingungen mit dominanten Frequenzanteilen im Bereich von 1 Hz bis 6 Hz, frequenzbewertete Effektivwerte kleiner oder gleich $1,49 \text{ m/s}^2$.

Tabelle 3 — Mittelwerte und Standardabweichungen s von Betrag und Phase der mittleren Impedanz des sitzenden Menschen in vertikaler Richtung für 98 kg Körpermasse

Frequenz Hz	Betrag Ns/m		Phase Grad	
	Mittelwert	s	Mittelwert	s
1	427	73	87,9	1,1
1,25	601	43	87,7	0,9
1,6	807	43	87,4	1,1
2	1050	56	86,0	1,4
2,5	1428	68	82,4	2,0
3,15	1986	130	72,5	5,0
4	2930	204	50,3	9,3
5	3248	416	36,3	6,8
6,3	2597	249	23,8	12,2
8	2458	178	16,9	11,3
10	2411	301	29,5	8,5
12,5	2301	281	39,8	6,1
16	2253	216	49,0	4,8
20	2434	215	55,4	7