

DIN 45669-1

ICS 17.160

Ersatz für
DIN 45669-1:2010-09 und
DIN 45669-1
Berichtigung 1:2012-12

**Messung von Schwingungsimmissionen –
Teil 1: Schwingungsmesser –
Anforderungen und Prüfungen**

Measurement of vibration immissions –
Part 1: Vibration meters –
Requirements and tests

Mesure des immissions vibratoires –
Partie 1: Vibromètres –
Exigences et essais

Gesamtumfang 71 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)
DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	5
4 Formelzeichen	11
5 Anforderungen	12
6 Prüfungen	25
7 Mechanische Kalibriereinrichtung	40
8 Elektrische Kalibriereinrichtung	42
9 Kennzeichnung	42
10 Datenblatt	42
11 Bedienungsanleitung	43
Anhang A (informativ) Beispiel für die Bildung des KB_F-Signals	44
Anhang B (informativ) Welligkeit	45
Anhang C (informativ) Zwei-Ton-Verfahren zur Prüfung des Phasenfrequenzgangs	46
Anhang D (informativ) Verfahren zur Ermittlung der maßgebenden Frequenz f_{mg}	54
Anhang E (normativ) Verfahren zur Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen ohne Ermittlung der maßgebenden Frequenz	55
Anhang F (informativ) Abschätzung der Gerätemessunsicherheit	58
Anhang G (informativ) Beispiel einer Realisierung des Bewertungsfilter und deren Prüfung	68
Literaturhinweise	71

Vorwort

Diese Norm ist vom Arbeitsausschuss NA 001-03-09 AA (NALS/VDI C 9) „Messung von Schwingungs-
immissionen“ des DIN/VDI-Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)
erarbeitet worden.

Im Rahmen des Immissionsschutzes sind zur Erfassung und Beurteilung mechanischer Schwingungen
(Erschütterungen), die auf Gebäude oder Menschen in Gebäuden einwirken, sowie zur Prüfung der
Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen Messungen erforderlich. Die Messunsicherheit der ermittelten
Ergebnisse hängt dabei sowohl von der Genauigkeit und Beständigkeit der verwendeten Schwingungs-
messeinrichtung (Schwingungsmesser) als auch von dem Messverfahren und anderen Einflüssen ab, wie
zum Beispiel der Erschütterungsquelle (siehe DIN 45669-2).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren
können. DIN und/oder DKE sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu
identifizieren.

Die Normenreihe DIN 45669 *Messung von Schwingungsimmissionen* besteht aus folgenden Teilen:

- Teil 1: *Schwingungsmesser — Anforderungen und Prüfungen*
- Teil 2: *Messverfahren*

Änderungen

Gegenüber DIN 45669-1:2010-09 und DIN 45669-1 Berichtigung 1:2012-12 wurden folgende Änderungen
vorgenommen:

- a) Prüfverfahren für die Beurteilungsschwinggeschwindigkeit aufgenommen;
- b) Verpflichtung zu einem Analogausgang gestrichen;
- c) Anhang zur Abschätzung der Gerätemessunsicherheit aufgenommen;
- d) Anhang zur Darstellung eines beispielhaften Programmiercodes zur Erstellung und Realisierung der v_B
Filterfunktion.

Frühere Ausgaben

DIN 45669-3: 2006-06
DIN 45669-1: 1981-01, 1995-06, 2010-09
DIN 45669-1 Berichtigung 1: 2012-12

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt Anforderungen an Schwingungsmesseinrichtungen (Schwingungsmesser) sowie nach Aufwand und Genauigkeit abgestufte Prüfungen fest. Mit diesen Schwingungsmessern, die im Bereich des Immissionsschutzes eingesetzt werden, können mechanische Schwingungen (Erschütterungen, Vibrationen), die auf Gebäude und/oder Menschen in Gebäuden einwirken, gemessen werden.

Es werden Anforderungen an die Frequenz- und Zeitbewertung als Grundlage zur Ermittlung von Beurteilungsgrößen angegeben, die u. a. aus den Festlegungen in DIN 4150-2 und DIN 4150-3 folgen.

Diese Norm legt fest, welche Prüfungen durch den Hersteller, Anwender oder in ihrem Auftrag mindestens durchzuführen sind, um die Einhaltung der Anforderungen an den Schwingungsmesser nachzuweisen. Darüber hinaus wird festgelegt, welche Angaben in die Dokumentation der jeweiligen Prüfung aufzunehmen sind.

Festlegungen zum Messverfahren und zur Ankopplung der Schwingungsaufnehmer werden in DIN 45669-2 getroffen. Die Beurteilung der ermittelten Messwerte im Hinblick auf den Immissionsschutz ist nicht Gegenstand dieser Norm (siehe dazu DIN 4150-2 und DIN 4150-3).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Ergänzungen zum vorliegenden Dokument darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 4150-2, *Erschütterungen im Bauwesen — Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden*

DIN 4150-3:2016-12, *Erschütterungen im Bauwesen — Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen*

DIN V ENV 13005, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen* ¹⁾

DIN EN 60529 (VDE 0470-1), *Schutzarten durch Gehäuse (IP Code)*

DIN EN 61000-4-2 (VDE 0847-4-2), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) — Teil 4-2: Prüf- und Messverfahren — Prüfung der Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität*

DIN EN ISO 10012, *Messmanagementsysteme — Anforderungen an Messprozesse und Messmittel*

DIN ISO 16063-21, *Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoßaufnehmern — Teil 21: Schwingungskalibrierung durch Vergleich mit einem Referenzaufnehmer*

1) Dies ist die deutsche Ausgabe des ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*. DIN V ENV 13005 ist zwar zurückgezogen, aber als deutsche Ausgabe sehr hilfreich und über den Beuth-Verlag weiterhin erhältlich.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- DIN-Terminologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term/>
- DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1

Messgröße

Schwingungsgröße am Ort des Schwingungsaufnehmers als Schwingweg, Schwinggeschwindigkeit (Schnelle) oder Schwingbeschleunigung in ihrem zeitlichen Verlauf

3.2

Schwingungsaufnehmer

Absolutaufnehmer für die jeweils gewählte Messgröße, dessen Ausgangsgröße ein nicht-mechanisches Signal (Messsignal) ist, das der Messgröße proportional ist

3.3

unbewertetes Signal

Schnellesignal

$v(t)$

der Schwingschnelle proportionales und bandbegrenztes Signal

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Bandbegrenzung siehe 5.1.4.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Schwingungsmessungen in Gebäuden wird die Schwinggeschwindigkeit (Schnelle) als Messgröße u. a. deshalb bevorzugt verwendet, weil zwischen ihr und den Beanspruchungen bei manchen Bauteilen bei stationären und auch bei transienten Schwingungen mindestens näherungsweise ein linearer Zusammenhang nachgewiesen worden ist. Auch bei der Einwirkung von Schwingungen auf Menschen ist in einem großen Teil des zu betrachtenden Frequenzbereichs die momentane subjektive Wahrnehmung direkt proportional zur Schwinggeschwindigkeit. Außerdem lässt eine Schwinggeschwindigkeits-Zeitregistrierung auch bei Schwingungsgemischen mit unterschiedlichen Amplituden Rückschlüsse auf den zeitlichen Verlauf sowohl des Schwingwegs als auch auf denjenigen der Schwingbeschleunigung zu. Das würde z. B. bei Wahl der Schwingbeschleunigung als Messgröße erschwert, da die Beschleunigungsamplituden bei höheren Frequenzen wegen der Frequenzabhängigkeit stark dominieren.

3.4 Signaleingänge

3.4.1

digitaler Eingang

Schnittstelle im Signalpfad auf der Eingangsseite des Schwingungsmessers, an den Zeitreihen des unbewerteten Signals (Schnellesignal) $v(t)$ zur Prüfung des Schwingungsmessers oder zu nachträglichen Auswertungen aufgezeichneter Messungen eingespeist werden können

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einspeisung kann blockweise erfolgen.

3.4.2

analoger Eingang

Eingang am Schwingungsmesser, über den analoge elektrische Signale, die dem unbewerteten Signal (Schnellesignal) $v(t)$ proportional sind, oder elektrische Prüfsignale eingespeist werden können

3.5

Zwischenglied

Teil des Schwingungsmessers, der aus der Ausgangsgröße des Schwingungsaufnehmers das unbewertete Signal bildet und insbesondere die Bandbegrenzung durchführt

BEISPIEL Zwischenglieder sind Verstärker, Integrierer, Differenzierer, Frequenzgangentzerrer für den Schwingungsaufnehmer oder Kombinationen hiervon.

3.6

Bandbegrenzung

untere und obere Begrenzung des Arbeitsfrequenzbereichs des Schwingungsmessers

Anmerkung 1 zum Begriff: Zum Zusammenhang der Eckfrequenzen des Bandbegrenzungsfilters mit den Grenzen des Arbeitsfrequenzbereichs eines Schwingungsmessers siehe 3.17.

3.7

Betragsmaximalwert

$|v|_{\max}$

betragsmäßig größter Wert des unbewerteten Signals (Schnellesignals) $v(t)$ während der Messdauer T_M

3.8

Bewertungsfilter

Teil des Schwingungsmessers, in dem durch Frequenzbewertung aus dem unbewerteten Signal (Schnellesignal) das KB -Signal oder v_B gebildet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Bewertungsfilter ist prinzipiell unabhängig von der Bandbegrenzung, doch wird häufig die gleichzeitige Wirkung beider Filter betrachtet.

3.9

frequenzbewertetes Signal

durch Anwendung eines Bewertungsfilters auf das unbewertete Signal (Schnellesignal) entstandenes Signal

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein frequenzbewertetes Signal entsteht durch eine Frequenzbewertung (siehe Gleichung (4), Bild 4 oder Anhang E). Die Frequenzbewertungen des Signals werden in dieser Norm in Bezug auf die Schwingsschnelle (Schwinggeschwindigkeit) angegeben, wenngleich auch eine Frequenzbewertung eines dem Schwingweg oder der Schwingbeschleunigung proportionalen Signals möglich ist.

3.10 **Bewertete Größen**

3.10.1 KB -Größen

3.10.1.1

KB -Signal

$KB(t)$

durch Frequenzbewertung des unbewerteten Signals (Schnellesignals) und Normierung mit der Normierungsgröße 1 mm/s entstandenes Signal

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur KB -Frequenzbewertung siehe Gleichung (4), Bild 4 und Anhang B. Das KB -Signal ist dimensionslos.

3.10.1.2

KB_F -Signal

bewertete Schwingstärke

$KB_F(t)$

gleitender Effektivwert des KB -Signals $KB(t)$, gebildet durch eine zeitliche Bewertung seines Quadrats mit einer Exponentialfunktion sowie anschließender Mittelung und Radizierung entsprechend folgender Gleichung:

$$KB_F(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{\xi=0}^t e^{-\frac{t-\xi}{\tau}} KB^2(\xi) d\xi} \quad (1)$$

Dabei ist

- $\tau = 0,125$ s Zeitkonstante;
 ξ Integrationsvariable;
 F „Fast“, Abkürzung für $\tau = 0,125$ s.

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Bildung des gleitenden Effektivwerts des KB -Signals mit einer Exponentialfunktion als Zeitbewertung ist die Zeitkonstante $\tau = 0,125$ s festgelegt (Zeitbewertung „Fast“). Sie wird den Beurteilungen von Schwingungseinwirkungen auf den Menschen nach DIN 4150-2 zugrunde gelegt; die schwankende Anzeige bei sehr tiefen Frequenzen (< 5 Hz) fand bei der Festlegung der Beurteilungskriterien Berücksichtigung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Momentanwerte des $KB_F(t)$ -Signals werden als bewertete Schwingstärke KB_F bezeichnet.

3.10.1.3 maximale bewertete Schwingstärke

KB_{Fmax}

Maximalwert des $KB_F(t)$ -Signals während der Mittelungsdauer T_m

3.10.1.4 Taktmaximalwert

KB_{FT}

Maximalwert des $KB_F(t)$ -Signals während der Taktdauer T

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anforderungen an die Taktdauer sind in 5.1.6.4 festgelegt.

3.10.1.5 Taktmaximal-Effektivwert

KB_{FTm}

Effektivwert der Taktmaximalwerte KB_{FTi} während der Mittelungsdauer $T_m = N \cdot T$ über N Takte mit der Taktdauer T entsprechend folgender Gleichung, wobei Werte $KB_{FTi} \leq 0,1$ mit dem Wert 0 eingesetzt werden, diese Takte jedoch in die Anzahl N eingehen:

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2} \quad (2)$$

3.10.2 Frequenzbewertete Größen bei kurzzeitiger Erschütterungseinwirkung auf Gebäude

3.10.2.1 Beurteilungsschwinggeschwindigkeit

v_B

frequenzbewertete Schwinggeschwindigkeit für die Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude nach DIN 4150-3:2016-12, Tabelle 1, werden folgende Beurteilungsschwinggeschwindigkeiten unterschieden:

- v_{B1} bei gewerblich genutzten Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierten Bauten,
 v_{B2} bei Wohngebäuden und/oder in ihrer Konstruktion gleichartigen Bauten,
 v_{B3} bei Bauten mit besonderer Erschütterungsempfindlichkeit.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Frequenzbewertung ist in Anhang E festgelegt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Beurteilungsschwinggeschwindigkeit wird vorzugsweise in mm/s angegeben.

3.10.2.2

Maximalwert der Beurteilungsschwinggeschwindigkeit

$|v_B|_{\max}$

Maximalwert der frequenzbewerteten Schwinggeschwindigkeit bei kurzzeitiger Erschütterungseinwirkung auf Gebäude, der mit einem Anhaltswert verglichen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: DIN 4150-3:2016-12, Tabelle 1, enthält Anhaltswerte für drei Gebäudearten. $|v_B|_{\max}$ wird mit dem zutreffenden Anhaltswert für den Frequenzbereich 1 Hz bis 10 Hz verglichen, siehe Tabelle E.2.

3.11

Anzeigegröße

im Anzeigeteil des Schwingungsmessers ausgegebener Messwert für die jeweilige Messrichtung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die für diese Norm erforderlichen Anzeigegrößen sind in 5.1.6.1 angegeben.

3.12

Ausgangssignal

fortlaufender Datenstrom oder blockweise aufgezeichnetes Signal auf Datenträger einer digitalen Darstellung eines Signals

Anmerkung 1 zum Begriff: Für diese Norm sind die Ausgangssignale:

- a) das Schnellesignal $v(t)$ mit der Bandbegrenzung nach 5.1.4,
- b) den Anzeigegrößen nach 5.1.6.1, proportionale Signale.

3.13

Messrichtung

bei Schwingungseinwirkung auf Gebäude und bei Schwingungseinwirkung auf Menschen mit nicht vorgegebener Körperhaltung in einem raumfesten kartesischen Koordinatensystem die vertikale Richtung z sowie die horizontalen Richtungen x und y

3.14

Richtungsfaktor

Verhältnis der Empfindlichkeit des Schwingungsaufnehmers bei Anregungen, die senkrecht zu seiner Hauptmessrichtung erfolgen, zu seiner Empfindlichkeit bei Anregungen in seiner Hauptmessrichtung

3.15

Messbereich

Bereich von Werten der Ausgabegrößen und Anzeigegrößen, in dem die Anforderungen dieser Norm erfüllt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Grenzen des Messbereichs werden durch die Anforderung in 5.2.1 bestimmt.

3.16

Referenzmessbereich

vom Hersteller angegebener Messbereich, der bei der Prüfung als Referenz dient

3.17

Arbeitsfrequenzbereich

Frequenzbereich zwischen 1 Terz oberhalb der unteren Eckfrequenz und 1 Terz unterhalb der oberen Eckfrequenz des Bandbegrenzungsfilters

Anmerkung 1 zum Begriff: Die untere Grenze des Arbeitsfrequenzbereichs wird mit f_u und die obere mit f_o bezeichnet. Die Grenzen des Arbeitsfrequenzbereichs sind in 5.2.2.1 festgelegt.

3.18**Nachweisgrenze**

Wert der Anzeigegröße, der um den Faktor 2 über dem Effektivwert der Eigenstörungen (Eigenrauschen, Offset usw.) des Schwingungsmessers für diese Anzeigegröße liegt

3.19**Übertragungsfaktor**

H

bei harmonischen Schwingungen das Verhältnis des Betrags des frequenzbewerteten Messsignals zum Betrag des unbewerteten Messsignals

3.20**Frequenzgang**

$H(jf)$

Abhängigkeit des Übertragungsfaktors H von der Frequenz f , bestehend aus dem Amplitudenfrequenzgang $H(f)$ (Betrag) und dem Phasenfrequenzgang $\varphi(f)$ (Argument)

3.21**Mittelungsdauer**

T_m

Dauer von N Takten mit der Taktdauer T , die für die Bildung des Taktmaximal-Effektivwerts KB_{FTm} und der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anforderungen an die Taktdauer sind in 5.1.6.4 festgelegt.

3.22**Messdauer**

T_M

Zeitspanne, während der die Schwingungsgrößen vom Schwingungsmesser erfasst werden

3.23**maßgebende Frequenz**

f_{mg}

Frequenz, die im Bereich der maßgebenden Schwinggeschwindigkeitswerte des Messsignals auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die maßgebende Frequenz ist eine Größe, die bei der Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen nach DIN 4150-3:2016-12, 5.1, verwendet wird.

3.24**Prüfung**

<Schwingungsmesseinrichtung> Feststellung, ob eine Schwingungsmesseinrichtung oder einzelne Funktionseinheiten festgelegte Anforderungen erfüllen, wobei eine Prüfung aus einer Kalibrierung und der Beurteilung der Ergebnisse hinsichtlich der vorgegebenen Anforderungen besteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch DIN 1319-1.

3.25**Erstprüfung**

Baumusterprüfung eines Gerätes aus einer baugleichen Geräteserie oder Einzelprüfung einer Einzelanfertigung (Unikat) einer Schwingungsmesseinrichtung, die sich auf alle Anforderungen erstreckt

3.26**Nachprüfung**

Prüfung zum Nachweis, dass die Schwingungsmesseinrichtung die Anforderungen auch noch nach Ablauf einer festgelegten Frist erfüllt, wobei der Umfang der Prüfung gegenüber der Erstprüfung in Bezug auf die Auswahl der Prüfgrößen und der Prüfsignale eingeschränkt ist

3.27

Zwischenprüfung

Prüfung nach besonderen Ereignissen, bei der der Umfang der Prüfung auf einzelne Komponenten und bestimmte Eigenschaften der Schwingungsmesseinrichtung beschränkt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Solche besonderen Ereignisse sind z. B. diejenigen, die in 6.4 genannt sind.

3.28

Prüfung für den Messeinsatz

mechanische oder elektrische Kalibrierung der Schwingungsmesseinrichtung unmittelbar vor und nach der Messung im Messlabor oder am Einsatzort; Funktionskontrolle der Schwingungsmesseinrichtung bei vollständig installiertem Messaufbau am Einsatzort

3.29

Kalibrieren

unter vorgegebenen Bedingungen Zuordnung des an der Schwingungsmesseinrichtung angezeigten Messwerts zum dazugehörigen Sollwert der Messgröße

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm wird vorausgesetzt, dass der Kalibrierung eine gegebenenfalls notwendige Justierung der Schwingungsmesseinrichtung vorausgeht.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe auch DIN 1319-1.

3.30

Rückführung

Kennzeichnung der Eigenschaft eines Messergebnisses, durch eine ununterbrochene Kette von Vergleichsmessungen (Kalibrierhierarchie) auf geeignete Normale bezogen zu sein

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein geeignetes Normal sind z. B. die Beschleunigungs-Normalmeseinrichtungen (nationale Normale) der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe auch Bild 5 und DIN EN ISO 10012.

4 Formelzeichen

ANMERKUNG Zahlen in Klammern geben erläuternde Abschnitte zu der Benennung an.

$F(f)$	Amplitudenfrequenzgang-Abweichung (5.2.3.3)
f_{mg}	maßgebende Frequenz (3.23)
f_o	obere Grenze des Arbeitsfrequenzbereichs (5.2.3.1)
f_u	untere Grenze des Arbeitsfrequenzbereichs (5.2.3.1)
f_r	Referenzfrequenz (5.2.10)
G_o	obere Grenzabweichung (5.2.3.3)
G_u	untere Grenzabweichung (5.2.3.3)
H	Übertragungsfaktor (3.19)
$H(jf)$	komplexer Frequenzgang (3.20)
$H(f)$	Amplitudenfrequenzgang, Betrag von $H(jf)$
$H_B(jf)$	komplexer Frequenzgang des frequenzbewerteten Signals (5.2.3.2)
$H_{\text{Ist}}(jf)$	komplexer Ist-Frequenzgang (5.2.3.3)
H_r	Wert eines Frequenzgangs bei der Referenzfrequenz (5.2.3.3)
$H_{\text{Soll}}(jf)$	komplexer Soll-Frequenzgang (5.2.3.2)
$H_u(jf)$	komplexer Frequenzgang des unbewerteten Signals (5.2.3.2)
$H_{\text{vB}}(f)$	Übertragungsfunktion des Filters der Beurteilungsschwinggeschwindigkeit
$H_{\text{zA}}(f)$	Welligkeitsfaktor (Anhang B)
IP	Schutzgrad (5.2.6)
$KB(t)$	KB -Signal (3.10.1.1)
$KB_F(t)$	bewertete Schwingstärke (in ihrem zeitlichen Verlauf), KB_F -Signal (3.10.1.2)
KB_F	bewertete Schwingstärke (3.10.1.2)
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke (3.10.1.3)
KB_{FT}	Taktmaximalwert (3.10.1.4)
$KB_{\text{FT}i}$	i -ter Taktmaximalwert (3.10.1.5)
KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert (3.10.1.5)
T	Taktdauer (3.10.1.5)
T_m	Mittelungsdauer (3.21)

T_M	Messdauer (3.22)
$v(t)$	unbewertetes Signal, Schnellesignal, Schwinggeschwindigkeit (3.3)
v_B	Beurteilungsschwinggeschwindigkeit bei kurzzeitiger Erschütterungseinwirkung auf Gebäude (3.10.2.1)
$ v_B _{\max}$	Maximalwert der Beurteilungsschwinggeschwindigkeit (3.10.2.2)
$\hat{v}$	Schwinggeschwindigkeitsamplitude (5.2.10)
$ v _{\max}$	Betragsmaximalwert der Schnelle (3.7)
$v_{q,\text{eff}}$	effektive Querbewegung (5.2.10)
x, y	horizontale Richtungen (3.13)
z	vertikale Richtung (3.13)
$\Delta\varphi(f)$	Phasenfrequenzgang-Abweichung (Anhang C)
$\varphi(f)$	Phasenfrequenzgang, Argument von $H(jf)$ (5.2.3.4)
τ	Zeitkonstante (3.10.1.2)

5 Anforderungen

5.1 Allgemeine Anforderungen

5.1.1 Allgemeines

Der in dieser Norm definierte Schwingungsmesser soll für möglichst viele Anwendungen bei der Messung von Schwingungen im Immissionsschutz geeignet sein. Die verschiedenen Anwendungen stellen unterschiedliche Anforderungen an den Schwingungsmesser. Deshalb sind verschiedene Ausstattungen des Schwingungsmessers möglich, die dies berücksichtigen.

Zur Beschreibung der Anforderungen an den Schwingungsmesser ist in Bild 1 ein Signalverarbeitungsablauf dargestellt. Eine Zusammenfassung von einzelnen Stufen der Signalverarbeitung nach Bild 1 kann vielfach zweckmäßig sein oder sich aus der Zusammenschaltung verschiedener Einzelgeräte ergeben. Schwingungsmesssysteme, die immer mit demselben Aufnehmertyp betrieben werden, können z. B. bestimmte Funktionen im Aufnehmer oder in der Aufzeichnungseinheit enthalten.



In Bild 1 zur Signalverarbeitung sind optionale Verarbeitungsschritte oder Schnittstellen mit unterbrochenen Linien dargestellt. Die Erklärungen zu den mit *1 bis *8 markierten Stellen sind nachfolgend aufgeführt.

- *1 Ein Zeitgeber wird zur Bestimmung der Messdauer, Taktdauer, Mittelungsdauer sowie für die Digitalisierung eines analogen Signals benötigt.
- *2 Das Messsignal kann digital oder analog sein.
- *3 Kalibrier-Ausgang (optional): Wenn die Kalibrierung einzelner Gruppen des Schwingungsmesssystems gewünscht ist, bietet sich an dieser Stelle ein Abgriff entweder des Messsignals oder des bandbegrenzten Signals an.
- *4 Kalibrier-Eingang (optional): Soll die Signalverarbeitung des Schwingungsmesssystems unabhängig von Schwingungsaufnehmer und Messsignal geprüft oder kalibriert werden, bietet sich ein entsprechender Eingang an dieser Stelle an.
- *5 Spätestens an dieser Stelle ist bei modernen Messsystemen nur noch ein digitales Signal vorhanden.
- *6 Nach den Anforderungen von DIN 4150-3:2016-12, 5.1, ist bei kurzzeitigen Erschütterungseinwirkungen die Ermittlung der maßgebenden Frequenz f_{mg} erforderlich; diese Ermittlung braucht jedoch nicht in dem Schwingungsmesser implementiert zu sein (siehe Anhang D).
- *7 Wichtig ist, dass eine zeitnahe Anzeige oder Ausgabe des aufgenommenen Signals erfolgt. Nur so ist z. B. ein Klopftest sinnvoll durchführbar. Diese Anzeige für das Messsignal kann als Zeitverlauf (z. B. auf einem Bildschirm), als Pegel (z. B. als LED- oder Aussteuerungsanzeige) oder als Trendanzeige erfolgen.
- *8 Eine Integration oder Differentiation kann hier oder an anderer Stelle im Signalpfad erfolgen.

Schwingungsmesser können als Einzelmessgerät oder als Schwingungsmesseinrichtung (Schwingungsmesssystem) durch Zusammenschaltung verschiedener Einzelmessgeräte realisiert sein. Sämtliche Anforderungen und die Fehlergrenzen beziehen sich grundsätzlich auf die Messeinrichtung als Ganzes, gegebenenfalls einschließlich einer Signalspeichereinrichtung. Die Prüfung darf sich im Einzelfall auf bestimmte Funktionseinheiten beschränken, soweit nur diese in Betracht kommen.

Die Verarbeitung der Messsignale erfolgt ab einer vom Messsystem abhängigen Stelle ausschließlich in digitaler Weise. Die Frequenz, mit der das analoge Messsignal für die Digitalisierung abgetastet wird, muss wegen der Kriterien zur Detektion des Betragsmaximalwerts in DIN 4150-2 und DIN 4150-3 mindestens das Sechsfache der oberen Grenze f_0 des Arbeitsfrequenzbereichs betragen.

5.1.2 Ausstattung von Schwingungsmessern

Für eingeschränkte Anwendungsziele können einzelne Stufen der Signalverarbeitung des Schwingungsmessers (und damit Messmöglichkeiten) nach Bild 1 entfallen. Die durch reduzierte Ausstattung bedingten Einschränkungen der Messmöglichkeiten sind im Datenblatt ausdrücklich zu erwähnen.

Im Anwendungsbereich dieser Norm wird die dreikanalige Ausstattung zur gleichzeitigen Messung von Schwingungen in allen drei Raumrichtungen, d. h. von allen drei Komponenten der Schwingung, empfohlen.

ANMERKUNG Für die eindeutige Unterscheidung zwischen dem Signal der Erschütterungsquelle und möglichen Störsignalen im untersuchten Gebäude ist in der Regel ein 4. Messkanal, dessen Aufnehmer in der Nähe der Quelle angebracht ist, erforderlich. Wenn bei einmaligen Vorgängen (z. B. Sprengerschütterungen) Schwingungen an Messpunkten am Fundament und in den oberen Stockwerken gleichzeitig erfasst werden, bedarf es bisweilen einer höheren Anzahl von Messkanälen.

Tabelle 1 gibt an, welche Größen der Anzeigeteil mindestens wiedergeben muss. Es empfiehlt sich, für alle Anzeigegrößen außer der Ablesemöglichkeit auch einen Signalausgang vorzusehen. Das bandbegrenzte Schnellesignal ist nach 5.1.7.1 als speicherbares Ausgangssignal zwingend. Die Möglichkeit zur Datenspeicherung muss gegeben sein.

Tabelle 1 — Ausstattung von Schwingungsmessern

Ausgabegröße (siehe 5.1.6.1)	Ausstattung		
	A Für die Einwirkung von Schwingungen auf Gebäude und auf Menschen in Gebäuden	B Nur für Einwirkung von Schwingungen auf Menschen in Gebäuden	C Nur für Einwirkung von Schwingungen auf Gebäude
$v(t)$	an Signalausgängen	an Signalausgängen	an Signalausgängen
$ v _{\max}$	im Anzeigeteil	—	im Anzeigeteil
$ v_B _{\max}^{2)}$	im Anzeigeteil	—	im Anzeigeteil
$KB_F(t)$	im Anzeigeteil	im Anzeigeteil	—
$KB_{F\max}$	im Anzeigeteil	im Anzeigeteil	—
KB_{FTm}	im Anzeigeteil	im Anzeigeteil	—
T_m	im Anzeigeteil	im Anzeigeteil	—
T_M	im Anzeigeteil	—	im Anzeigeteil

5.1.3 Signalerfassung und -übertragung

Die Signalerfassung erfolgt mit einem Schwingungsaufnehmer für eine vorgegebene Messrichtung (siehe 3.13). Es wird nicht festgelegt, nach welchem Prinzip der Schwingungsaufnehmer arbeitet.

Hinsichtlich der Ankopplung des Schwingungsaufnehmers und der Überprüfung auf Störeinflüsse siehe DIN 45669-2. Allgemein gültige Hinweise sind auch in DIN ISO 5348 enthalten.

Der Hersteller muss sowohl für Leitungen als auch für Funkstrecken die Länge(n) der Übertragungsstrecke(n) zwischen Teilen der Schwingungsmesseinrichtung zusammen mit den Umgebungsbedingungen und den wesentlichen Einflussfaktoren im Datenblatt angeben.

Sollten Unterbrechungen der Messwerterfassung durch die Datenspeicherung auftreten, sind diese vom Schwingungsmesssystem zu dokumentieren.

5.1.4 Bandbegrenzung im Zwischenglied

Im Zwischenglied erfolgt die Bandbegrenzung des Arbeitsfrequenzbereichs mit einem asymptotischen Abfall von 12 dB/Oktave zu tieferen bzw. höheren Frequenzen (siehe 5.2.3.1). Dieser Abfall ist in den Amplituden- und den Phasenfrequenzgang des Schwingungsmessers einbezogen, deren Toleranzen in 5.2.3 festgelegt sind.

5.1.5 Frequenzbewertung mit Bewertungsfilter

Das Bewertungsfilter muss dem Frequenzgang des Schwingungsmessers den in 5.2.3 beschriebenen Verlauf geben. Die Frequenzbewertung schließt die zugehörige Bandbegrenzung ein (siehe 5.1.4). Der Frequenzgang des Schwingungsaufnehmers kann dabei einbezogen werden.

2) siehe 5.1.6.1 g)

5.1.6 Anzeigeteil

5.1.6.1 Allgemeines

Der Anzeigeteil muss folgende Anzeigegrößen in Abhängigkeit von der Ausstattung (siehe Tabelle 1) darstellen:

- a) Betragsmaximalwert $|v|_{\max}$ für die Messdauer T_M ;
- b) $KB_F(t)$ -Signal;
- c) maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F\max}$ für die Mittelungsdauer T_m ;
- d) Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} für die Mittelungsdauer T_m ;
- e) Mittelungsdauer T_m ;
- f) Messdauer T_M ;
- g) Sofern Beurteilungsfiler nach Anhang E vorhanden sind: Maximalwerte $|v_{B1}|_{\max}$, $|v_{B2}|_{\max}$ und $|v_{B3}|_{\max}$ der Beurteilungsschwinggeschwindigkeit und mindestens eine beliebig wählbare fortlaufend anzeigen.

Die Anzeigegrößen können in digitaler oder analoger Form angezeigt werden. Darüber hinaus können weitere Größen angezeigt werden, z. B. Häufigkeitsverteilungen von $KB_F(t)$, die Anzahl N der Takte, die einzelnen KB_{FTi} , die maßgebende Frequenz f_{mg} .

5.1.7 KB_F -Signal

5.1.7.1 Allgemeines

Aus dem KB -Signal wird durch gleitende Effektivwertbildung nach 3.10.1.2 das KB_F -Signal (bewertete Schwingstärke) gebildet. Ein Beispiel für die Bildung des KB_F -Signals in digitaler Form siehe Anhang A.

Bei der Bildung des gleitenden Effektivwerts sind mehrere Anforderungen zu berücksichtigen, und zwar hinsichtlich Scheitelfaktorverarbeitung, Symmetrie der Gleichrichtung und Zeitbewertung. Diese Anforderungen sind im Zusammenhang mit der Prüfung in 6.2.3.10 festgelegt.

5.1.7.2 Betragsmaximalwert $|v|_{\max}$ und maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F\max}$

Der Betragsmaximalwert $|v|_{\max}$ und die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F\max}$ sind für die Messdauer T_M bzw. für die Mittelungsdauer T_m zu bilden. Der zeitliche Ablauf der Maximalwertbildung muss in der Anzeige erkennbar sein.

Anforderungen an die Maximalwertbildung sind im Zusammenhang mit der Prüfung in 6.2.3.10 festgelegt.

5.1.7.3 Taktmaximalwert und Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm}

Die Taktdauer T für den Taktmaximalwert beträgt 30 s entsprechend den Festlegungen in DIN 4150-2.

Bei der Bildung des Taktmaximal-Effektivwerts KB_{FTm} sollte jeweils der Effektivwert für die bereits erfasste Anzahl von Takten abrufbar sein. Wenn die Messdauer T_M größer als eine ganze Anzahl von Taktdauern T ist, dürfen angebrochene Takte nicht oder erst nach Auffüllung als voller Takt berücksichtigt werden. Die Mittelungsdauer T_m erstreckt sich also immer über eine volle Anzahl von Takten.

Der Schwingungsmesser muss die Möglichkeit bieten, Störungen bei der Bestimmung der Kenngrößen auszuschließen. Der angefangene Takt wird nach dem Ausschluss der Störung fortgesetzt. Der Ausschluss muss sich in gleicher Weise auf das $KB_F(t)$ -Signal und die Zeitmessung erstrecken. Damit wird sichergestellt, dass das Ereigniskollektiv für alle Kenngrößen gleich ist.

Anforderungen an die Taktmaximalwert-Bildung sind im Zusammenhang mit der Prüfung in 6.2.3.10 festgelegt.

5.1.7.4 Beurteilungsschwinggeschwindigkeit v_B , Ermittlung der maßgebenden Frequenz f_{mg} bei kurzzeitiger Erschütterungseinwirkung auf Gebäudefundamente

Eine Frequenzbewertung ist nach dem Verfahren nach Anhang E zu ermitteln oder es ist eine Ermittlung der maßgebenden Frequenz erforderlich (siehe Anhang D). Im Schwingungsmesser muss sichergestellt sein, dass bei Verwendung von v_B nur Abtastfrequenzen verwendet werden für die im System auch v_B Filter vorhanden sind.

5.1.7.5 Maßgebende Frequenz f_{mg}

Die Schwingungsmesseinrichtung darf die Ermittlung der maßgebenden Frequenz f_{mg} nach 3.23 enthalten. Verfahren zur Ermittlung der maßgebenden Frequenz sind in Anhang D aufgeführt. Ist die Frequenzermittlung implementiert, muss f_{mg} im Anzeigeteil abgelesen werden können, und es ist im Datenblatt anzugeben, nach welchem Verfahren die Frequenzermittlung erfolgt.

5.1.7.6 Anforderung an die Messwertanzeige

Wenn die Auflösung der Messwertanzeige einen relevanten Beitrag zur Messunsicherheit liefert, ist dieser Beitrag zu ermitteln und anzugeben. Wenn der Beitrag nicht relevant ist, ist nachzuweisen, dass dieser Unsicherheitsbeitrag vernachlässigt werden kann. Weitere Anforderungen an die Anzeige sind im Zusammenhang mit der Prüfung in 6.2.3.11 festgelegt.

5.1.8 Signalausgänge

Ein Ausgang, an dem das Schnellesignal $v(t)$ mit der Bandbegrenzung nach 5.1.4 in digitaler Form ausgegeben wird, ist zwingend erforderlich.

Zu Einzelheiten digitaler Signalausgabe siehe 5.1.9.

5.1.9 Signaleingänge

5.1.9.1 Allgemeines

Am Schwingungsmesser ist ein Eingang zur Einspeisung elektrischer Signale oder digitaler Daten vorzusehen.

5.1.9.2 Digitale Eingänge

Wenn kein Analogeingang nach 5.1.8.3 vorhanden ist, muss der Schwingungsmesser mindestens die nach 5.1.7.2 erzeugten Daten an einer Schnittstelle zur Weiterverarbeitung annehmen können. Bei Einspeisung der Signale mehrerer Kanäle ist die zeitliche Zuordnung der Signale sicherzustellen. Zu Einzelheiten digitaler Ein- und Ausgabe siehe 5.1.9.

5.1.9.3 Analoge Signaleingänge

Ein analoger Signaleingang ermöglicht es, den Schwingungsmesser mit definierten elektrischen Eingangssignalen zu prüfen. Für analoge elektrische Eingänge müssen die Eingangsimpedanzen und Eingangsspannungsbereiche angegeben werden.

5.1.10 Digitale Ein- und Ausgabe

Bei der digitalen Ein- und Ausgabe muss eine Messdauer von mindestens 32 s verarbeitet werden können. Bei mehrkanaligen Aufnahmen sind Maßnahmen zu ergreifen, die sicherstellen, dass die zeitliche Zuordnung der Kanäle auch bei Ausgabe von Signalausschnitten einer Messung erhalten bleibt.

Mindestens ein Datenformat der digitalen Ausgabe muss es gängigen Programmen ermöglichen, die Daten einzulesen. Vorzugsweise sollten die zur Systemprüfung herangezogenen digitalen Ausgangssignale als ASCII-Dateien mit physikalischen Werten ausgegeben werden. Eine Umwandlung von z. B. binären Daten in ASCII-Daten ist zulässig.

5.1.11 Batteriebetrieb

Wird der Schwingungsmesser mit einer Batterie oder Akkumulator betrieben, ist sicherzustellen, dass die Anforderungen dieser Norm stets eingehalten werden. Bei einer zu geringen Speisespannung, die dazu führt, dass die Anforderungen dieser Norm eventuell nicht mehr eingehalten werden, dürfen keine Schwingungssignale mehr aufgezeichnet oder ausgegeben werden.

5.2 Einzelanforderungen

5.2.1 Messbereich und Einhaltung der Messbereichsgrenzen, Übersteuerung

Die Messbereiche für die Eingangssignale sowie die Bereiche der Ausgabegrößen und Anzeigegrößen sind vom Hersteller anzugeben.

Bei umschaltbarem Messbereich ist ein Referenzmessbereich anzugeben, dessen Vollausssteuerung nicht unter 1,5 mm/s liegen darf.

Es ist sicherzustellen, dass Überschreitungen der Messbereichsgrenzen — auch einzelner Teile des Schwingungsmessers — während der Messung durch eine Übersteuerungsanzeige erkennbar sind. Die Überschreitungen müssen so angezeigt werden, dass sie auch dann zuverlässig erkannt werden können, wenn sie nur kurzzeitig auftreten. Anforderungen an die Übersteuerungsanzeige sind im Zusammenhang mit ihrer Prüfung in 6.2.3.8 festgelegt. Nachweisgrenze.

Der Schwingungsmesser muss eine Nachweisgrenze von höchstens 0,05 mm/s für den Betragsmaximalwert $|v|_{\max}$ oder von höchstens 0,02 für die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ haben.

5.2.2 Arbeitsfrequenzbereich, Frequenzgang

5.2.2.1 Arbeitsfrequenzbereich

Der Arbeitsfrequenzbereich des Schwingungsmessers ist in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 — Arbeitsfrequenzbereich

untere Grenze f_u Hz	obere Grenze f_o Hz	Einsatzzweck
1	80	Schwingungseinwirkung auf den Menschen nach DIN 4150-2 und auf bauliche Anlagen nach DIN 4150-3.
	315	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen nach DIN 45672-1, bei besonderen Aufgabenstellungen, z. B. bei Sprengungsmessungen im Nahbereich oder bei Erschütterungsmessungen im Hinblick auf sekundären Luftschall.

5.2.2.2 Frequenzgänge

Die Bandbegrenzung des unbewerteten Signals ist als Sollfrequenzgang durch den folgenden komplexen Frequenzgang $H_{uSoll}(jf)$ nach Betrag und Phase festgelegt:

$$H_{uSoll}(jf) = \frac{1}{\left[1 - j\sqrt{2} \frac{0,8f_u}{f} - \left(\frac{0,8f_u}{f}\right)^2\right] \cdot \left[1 + j\sqrt{2} \frac{0,8f}{f_o} - \left(\frac{0,8f}{f_o}\right)^2\right]} \quad (3)$$

ANMERKUNG Die Funktion beschreibt die Kombination eines zweipoligen Hochpassfilters mit Butterworth-Charakteristik und 0,8 Hz Eckfrequenz (-3 dB) und eines zweipoligen Tiefpassfilters mit Butterworth-Charakteristik und 100 Hz Eckfrequenz (-3 dB) für den Fall $f_u = 1$ Hz und $f_o = 80$ Hz. Der Frequenzgang des Hochpassfilters ist mit demjenigen eines idealisierten elektrodynamischen Schnelleaufnehmers mit der Kennfrequenz 0,8 Hz und dem Dämpfungsgrad $1/\sqrt{2}$ identisch. Bei $f_o = 315$ Hz beträgt die Tiefpass-Eckfrequenz ≈ 394 Hz.

Die Frequenzbewertung zur Bildung des frequenzbewerteten Signals ist als Sollfrequenzgang durch den folgenden komplexen Frequenzgang $H_{BSoll}(jf)$ nach Betrag und Phase festgelegt:

$$H_{BSoll}(jf) = \frac{1}{1 - j \frac{5,6\text{Hz}}{f}} \cdot H_{uSoll}(jf) \quad (4)$$

Toleranzen und Prüfverfahren sind im Weiteren separat für Betrag und Phase der komplexen Frequenzgänge als Amplituden- und Phasenfrequenzgänge festgelegt.

5.2.2.3 Amplitudenfrequenzgänge

Aus den komplexen Frequenzgängen nach 5.2.2.2 ergeben sich folgende Soll-Amplitudenfrequenzgänge (siehe Bilder 2 bis 4 als schematische Darstellung):

$$H_{uSoll}(f) = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{0,8f_u}{f}\right)^4\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{0,8f}{f_o}\right)^4\right]}} \quad (5)$$

$$H_{BSoll}(f) = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{0,8f_u}{f}\right)^4\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{0,8f}{f_o}\right)^4\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{5,6\text{Hz}}{f}\right)^2\right]}} \quad (6)$$

Der Toleranzbereich der Ist-Amplitudenfrequenzgänge des Schwingungsmessers ist anhand der relativen Amplitudenfrequenzgang-Abweichung $F(f)$ festgelegt:

$$F(f) = \left(\frac{H_{Ist}(f)}{H_{Soll}(f)} \cdot \frac{H_{rSoll}}{H_{rIst}} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (7)$$

Dabei bezeichnen $H_{Soll}(f)$ und $H_{Ist}(f)$ den Soll- bzw. Ist-Amplitudenfrequenzgang des unbewerteten oder frequenzbewerteten Signals in Abhängigkeit von der Frequenz f sowie H_{rSoll} und H_{rIst} die entsprechenden Werte bei der Referenzfrequenz f_r nach 5.2.10.

Die Amplitudenfrequenzgang-Abweichung $F(f)$ muss für alle $f \neq f_r$ die Toleranzbedingung $-G_u \leq F(f) \leq G_o$ einhalten, wobei für die untere Grenzabweichung G_u die Werte nach Tabelle 3 und für die obere Grenzabweichung G_o die Werte nach Tabelle 4 gelten. Anforderungen an G_o bestehen nur dann, wenn $H_{Ist}(f) > 0,01$ ist.

Tabelle 3 — Untere Grenzabweichung G_u für die Amplitudenfrequenzgang-Abweichung $F(f)$

Frequenzbereich für alle $f \neq f_r$	Untere Grenzabweichung G_u %
$0,5 f_u < f < 1,25 f_u$	20
$1,25 f_u \leq f \leq 0,8 f_o$	10
$0,8 f_o < f < 2 f_o$	20
außerhalb der o. g. Bereiche	100

Tabelle 4 — Obere Grenzabweichung G_o für die Amplitudenfrequenzgang-Abweichung $F(f)$

Frequenzbereich für alle $f \neq f_r$	Obere Grenzabweichung G_o %
$f < 1,25 f_u$	20 ^a
$1,25 f_u \leq f \leq 0,8 f_o$	10
$0,8 f_o < f$	20 ^a
^a Anforderung besteht nur, sofern $H_{\text{Ist}}(f) > 0,01$	

ANMERKUNG Bei der in den Bildern 2 und 3 gewählten doppelt-logarithmischen Darstellung sehen die Toleranzschläuche trotz unterschiedlicher oberer Grenzen f_o des Arbeitsfrequenzbereichs gleich aus.

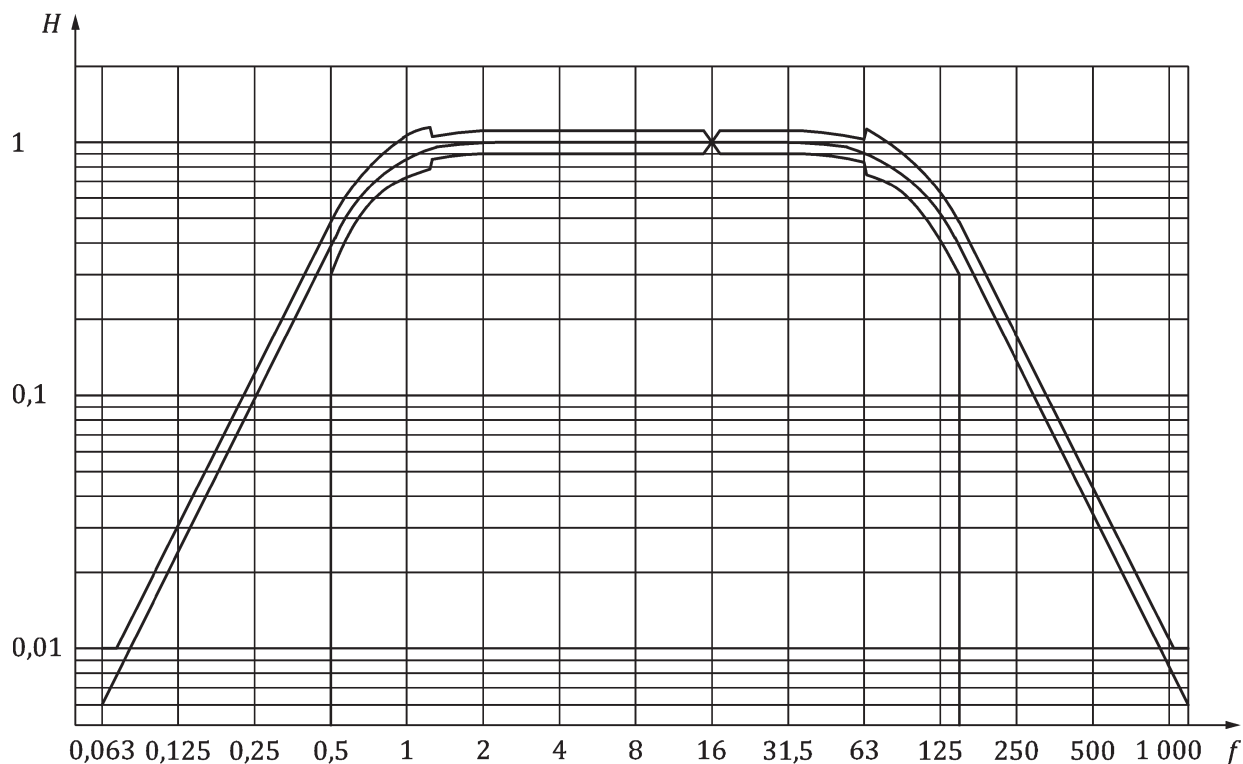


Bild 2 — Soll-Amplitudenfrequenzgang $H_{uSoll}(f)$ sowie Grenzen des Ist-Amplitudenfrequenzgangs $H_{uIst}(f)$ des unbewerteten Signals für $f_u = 1$ Hz und $f_o = 80$ Hz (schematisch)

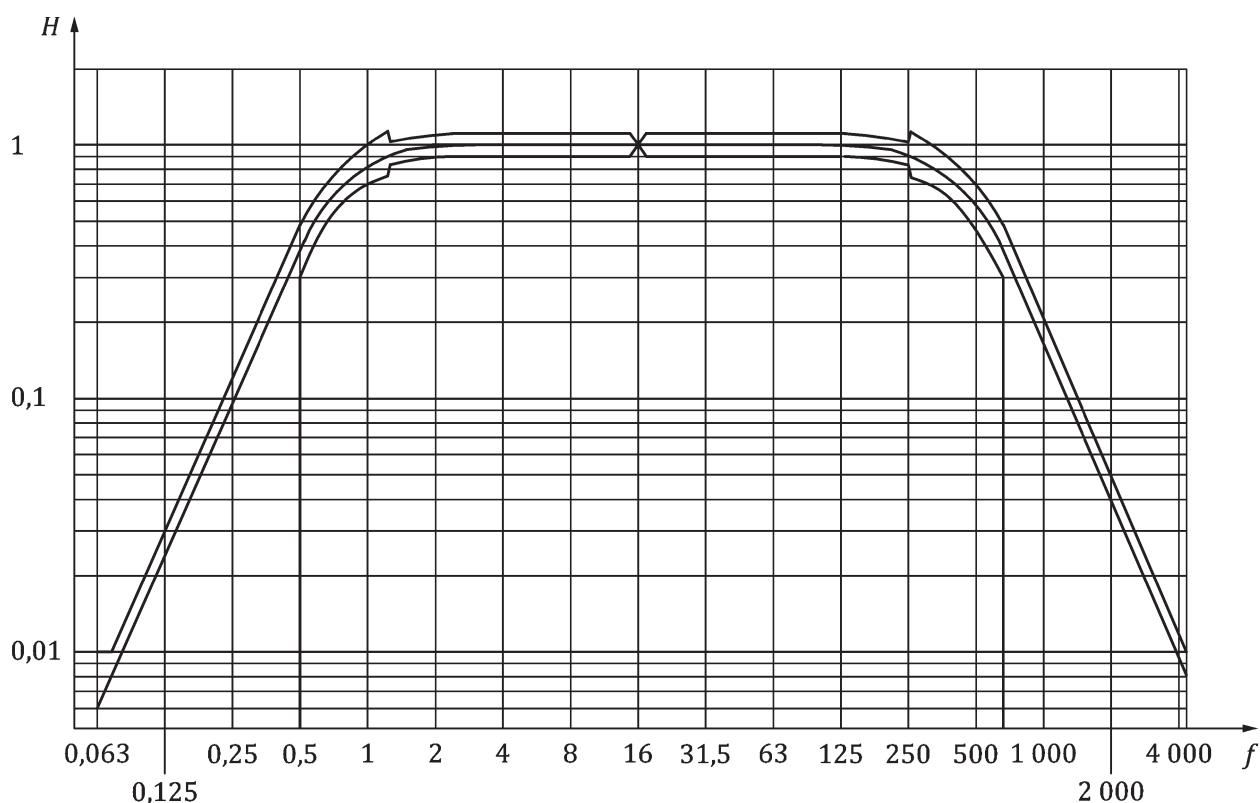


Bild 3 — Soll-Amplitudenfrequenzgang $H_{uSoll}(f)$ sowie Grenzen des Ist-Amplitudenfrequenzgangs $H_{uIst}(f)$ des unbewerteten Signals für $f_u = 1$ Hz und $f_o = 315$ Hz (schematisch)

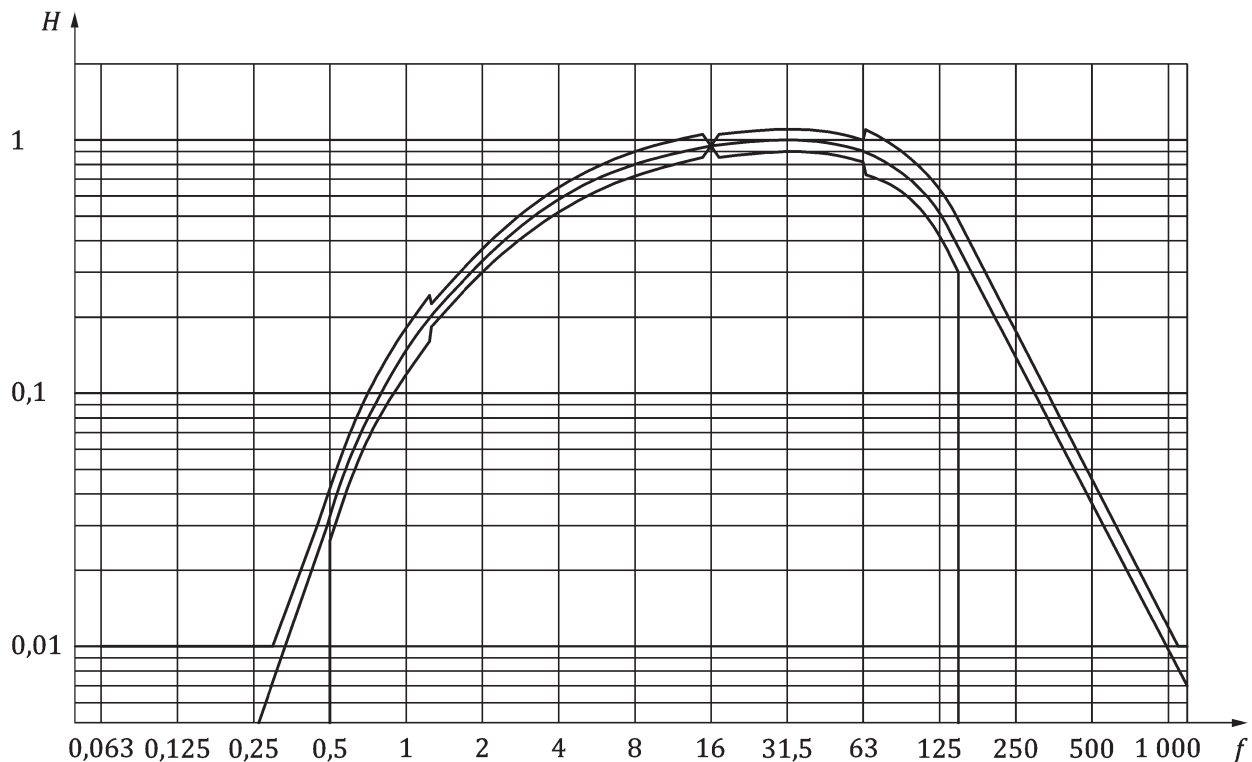


Bild 4 — Soll-Amplitudenfrequenzgang $H_{BSoll}(f)$ sowie Grenzen des Ist-Amplitudenfrequenzgangs $H_{BIst}(f)$ des frequenzbewerteten Signals für $f_u = 1$ Hz und $f_o = 80$ Hz (schematisch)

Die Amplitudenfrequenzgänge $H_B(f)$ gelten für das frequenzbewertete Signal und sollten daher nur als Langzeit-Effektivwerte (über mehrere Sekunden) gemessen werden. Eine Zeitbewertung (hier Zeitbewertung F) hingegen ruft im Zeitverlauf der Anzeige eine zusätzliche Welligkeit hervor, die dazu führt, dass KB_{FTm} - und KB_{FTm} - Werte zu tiefen Frequenzen hin zu einer höheren Anzeige führen als der Langzeit-Effektivwert (Welligkeitseffekt, siehe Anhang B).

5.2.2.4 Phasenfrequenzgänge

Aus den komplexen Frequenzgängen nach 5.2.3.2 ergeben sich folgende Soll-Phasenfrequenzgänge:

$$\phi_{uSoll}(f) = \arctan \frac{\sqrt{2}}{\frac{f}{0,8f_u} - \frac{0,8f_u}{f}} + \arctan \frac{\sqrt{2}}{\frac{0,8f}{f_o} - \frac{f_o}{0,8f}} \quad (8)$$

$$\phi_{BSoll}(f) = \arctan \frac{\sqrt{2}}{\frac{f}{0,8f_u} - \frac{0,8f_u}{f}} + \arctan \frac{\sqrt{2}}{\frac{0,8f}{f_o} - \frac{f_o}{0,8f}} + \arctan \frac{5,6\text{Hz}}{f} \quad (9)$$

Der Ist-Phasenfrequenzgang des Schwingungsmessers darf sich vom Soll-Phasenfrequenzgang höchstens so weit unterscheiden, dass der Maximalwert des Betrags zweier überlagerter harmonischer Schwingungen im Bereich 1 Hz bis unter 2,5 Hz eine Grenzabweichung von 20 % und für $2,5 \text{ Hz} \leq f \leq f_o$ eine Grenzabweichung von 10 % einhält.

ANMERKUNG Es wird darauf hingewiesen, dass der Phasenfrequenzgang den Betragsmaximalwert nicht-harmonischer Signale erheblich beeinflussen kann, in geringerem Maße auch die maximale bewertete Schwingstärke KB_{FTm} . Die Empfehlung zielt auf einen einfach (auch digital durch rekursive Filter) realisierbaren Phasenfrequenzgang.