

Messung mechanischer Schwingungen am Arbeitsplatz

Schwingungsmesser
Anforderungen, Prüfung**DIN**
45 671
Teil 1Measurement of occupational vibration immissions;
vibration meters; requirements, testing

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	1	2.18 Amplitudenfrequenzgang	3
2 Begriffe	1	2.19 Normierung	3
2.1 Eingangsgröße	1	3 Bezeichnung	3
2.2 Effektivwert	1	4 Anforderungen	3
2.3 Gleitender Effektivwert	1	4.1 Allgemeine Anforderungen	3
2.4 Meßsignale	2	4.2 Einzelanforderungen	9
2.5 Anzeige Größen	2	5 Prüfung	16
2.6 Ausgangssignale	2	5.1 Prüfung mit mechanischen Eingangsgrößen	16
2.7 Schwingungsaufnehmer	3	5.2 Prüfung mit elektrischen Prüfsignalen	16
2.8 Zwischenglied	3	5.3 Prüfung hinsichtlich der Umwelteinflüsse	17
2.9 Bewertungsfilter	3	5.4 Prüfung des energieäquivalenten Mittelwertes	17
2.10 Anzeigeteil	3	6 Kennzeichnung	17
2.11 Elektrische Ausgänge	3	7 Datenblatt	17
2.12 Meßrichtung	3	8 Betriebsanleitung	18
2.13 Richtungsfaktor	3	Zitierte Normen und andere Unterlagen	18
2.14 Arbeitsfrequenzbereich	3	Weitere Normen	19
2.15 Meßbereich	3	Stichwortverzeichnis	19
2.16 Frequenzbewertung	3		
2.17 Übertragungsfaktor	3		

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm legt Anforderungen an Meßeinrichtungen (Schwingungsmesser genannt) fest und macht Angaben über ihre Prüfung.

Der Schwingungsmesser dient in erster Linie zur Messung von mechanischen Schwingungen (Erschütterungen, Vibrationen), denen Menschen am Arbeitsplatz ausgesetzt sind. Die Messung kann an Arbeitsplätzen, z. B. an oder auf Maschinen, auf Fahrzeugen, in Gebäuden oder an handgeführten Arbeitsgeräten bei vorgefundenen Betriebszuständen und Arbeitsbedingungen erfolgen. Sie kann jedoch auch bei vorgegebenen Betriebszuständen und Arbeitsbedingungen erfolgen, z. B. für den Vergleich von Geräten. Das Meßverfahren ist in DIN 45 671 Teil 2 festgelegt.

Es werden Anforderungen an die Frequenz- und Zeitbewertung der Meßsignale als Grundlage zur Ermittlung von Beurteilungsgrößen angegeben, die sich an die Festlegungen in DIN 4150 Teil 1 bis Teil 3, VDI 2057 Blatt 1 bis 3, ISO 2631/1:1985, ISO 5349:1986 und ISO/DIS 8041:1987 anlehnen. Diese Festlegungen können analog oder digital in dem Schwingungsmesser realisiert werden.

2 Begriffe**2.1 Eingangsgröße**

Die Eingangsgröße ist die Schwingungsgröße am Ort des Schwingungsaufnehmers als Schwingweg s , Schwinggeschwindigkeit (Schnelle) v oder Schwingbeschleunigung a in ihrem zeitlichen Verlauf (siehe DIN 45 661). (aus: DIN 45 669 Teil 1/01.81)

2.2 Effektivwert

Der Effektivwert eines Signals z. B. $U(t)$ ist

$$U_T = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt} \quad (1)$$

mit der Mittelungsdauer T .

2.3 Gleitender Effektivwert

Der gleitende Effektivwert eines Signals z. B. $U(t)$ wird durch eine zeitliche Bewertung mit einer Exponentialfunktion gebildet:

$$U_\tau(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^t e^{-\frac{t-\xi}{\tau}} U^2(\xi) d\xi} \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

τ Zeitkonstante
 ξ Integrationsvariable.

Es werden folgende Zeitkonstanten festgelegt:

$\tau = 0,125 \text{ s}, \quad U_F(t)$
 $\tau = 1 \text{ s}, \quad U_S(t)$
 $\tau = 8 \text{ s}, \quad U_{VS}(t)$

Anmerkung: Gleichung (2) kann auch in der Form

$$U_\tau(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^t e^{-\frac{t-\xi}{\tau}} U^2(t-\xi) d\xi} \quad (3)$$

angegeben werden.

Fortsetzung Seite 2 bis 19

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

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

2.4 Meßsignale

Meßsignale (kurz Signale) im Sinne dieser Norm sind die Darstellungen der Eingangsgröße, der Anzeige Größen und der während der Verarbeitung auftretenden Zwischenwerte durch elektrische Größen. (aus: DIN 45 669 Teil 1/01.81)

2.4.1 Unbewertetes Signal

Das unbewertete Signal (unbewertetes Beschleunigungssignal $a(t)$) im Sinne dieser Norm ist ein der Beschleunigung proportionales und nach Abschnitt 4.1.3 bandbegrenztes Signal.

Anmerkung: Sofern das unbewertete Signal der Schwinggeschwindigkeit oder dem Schwingweg proportional ist, muß die Frequenzbewertung mit den für die jeweilige Eingangsgröße gültigen Amplitudenfrequenzgängen erfolgen. In dieser Norm werden die Zusammenhänge und Anforderungen an den Schwingungsmesser beispielhaft für die Schwingbeschleunigung als Eingangsgröße beschrieben.

Die Meßrichtung wird durch die Indizes x , y oder z gekennzeichnet.

2.4.2 K -bewertetes Signal, K -Signal

Das K -bewertete Signal oder K -Signal $K(t)$ ist das durch Frequenzbewertung und Normierung (siehe VDI 2057 Blatt 1) des unbewerteten Beschleunigungssignals nach Abschnitt 2.4.1 entstandene Signal.

Anmerkung 1: Der Amplitudenfrequenzgang für die Frequenzbewertung ist von der Einleitungsstelle der Schwingungen in den menschlichen Körper, von der Körperhaltung und Meßrichtung abhängig und wird in Abschnitt 4.2.2 beschrieben. Die Normierung erfolgt durch Division mit einer in Abschnitt 4.1.5.4 festgelegten Beschleunigung.

Anmerkung 2: Die Frequenzbewertung des Signals wird in dieser Norm in Bezug auf die Beschleunigung angegeben, wenngleich auch eine Bewertung auf der Basis eines dem Schwingweg oder eines der Schwinggeschwindigkeit proportionalen Signals möglich ist.

Anmerkung 3: Nach ISO/DIS 8041: 1987 entfällt die Normierung bei den entsprechenden Beurteilungsgrößen. Damit behalten diese Bestimmungsgrößen die Dimension m/s^2 und unterscheiden sich im Zahlenwert. Eine Umrechnung zwischen bewerteter Schwingstärke und bewerteter Beschleunigung kann mit den in Abschnitt 4.1.5.4 angegebenen Gleichungen erfolgen, indem die Gleichungen auf die Effektivwerte der Beschleunigung angewendet werden.

2.4.3 Bewertete Schwingstärke, K -Wert

Die bewertete Schwingstärke $K_\tau(t)$ (K -Wert) ist der mit der Zeitkonstanten τ gebildete Effektivwert des K -bewerteten Signals $K(t)$. Sie ist eine Zeitfunktion. Für die unterschiedlichen K -Bewertungen ergeben sich entsprechend unterschiedlich bewertete Schwingstärken $K_\tau(t)$.

Die Kennzeichnung der unterschiedlich bewerteten Schwingstärken $K_\tau(t)$ erfolgt durch Anfügen von Buchstaben nach VDI 2057 Blatt 1, z. B. $KZL_\tau(t)$ für die z -Komponente bei liegender Körperhaltung.

Die Meßrichtungen x , y , z werden bei den gleitenden Effektivwerten und den K -bewerteten Signalen durch die zugefügten Buchstaben X , Y , Z gekennzeichnet.

2.4.4 Maximale bewertete Schwingstärke

Die maximale bewertete Schwingstärke $K_{\tau, \max, T}$ ist gleich dem Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $K_\tau(t)$ nach Abschnitt 2.4.3 während der Meßdauer T .

2.4.5 Energieäquivalenter Mittelwert

Der energieäquivalente Mittelwert K_{eq} wird aus dem K -Signal $K(t)$ durch eine Effektivwertbildung über eine Mittelungsdauer T gewonnen:

$$K_{eq, T} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T K^2(t) dt} \quad (4)$$

Anmerkung: Falls die Mittelungsdauer T im Vergleich zur Zeitkonstanten τ der Zeitbewertung groß ist, kann der energieäquivalente Mittelwert auch aus der bewerteten Schwingstärke $K_\tau(t)$ durch nochmalige Effektivwertbildung über eine Mittelungsdauer von T gewonnen werden:

$$K_{eq} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T K_\tau^2(t) dt} \quad (5)$$

2.4.6 Vektor-Resultierende

Der Betrag der Vektor-Resultierenden (Vektorbetrag) für die bewerteten Signale wird durch folgende Gleichung definiert:

$$KV(t) = \sqrt{KX^2(t) + KY^2(t) + KZ^2(t)} \quad (6)$$

Die Betragsbildung kann auf gleitende Effektivwerte oder energieäquivalente Mittelwerte angewandt werden. Die Bezeichnungen sind $KV_\tau(t)$ bzw. KV_{eq} . Für den Fall der Hand-Arm-Bewertung z. B. lautet die Gleichung nach DIN 45 675 Teil 1:

$$KVH_\tau(t) = \sqrt{\left(\frac{a_{xhw\tau}(t)}{0,16 \text{ ms}^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{a_{yhw\tau}(t)}{0,16 \text{ ms}^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{a_{zhw\tau}(t)}{0,16 \text{ ms}^{-2}}\right)^2} = \frac{a_{vhw}(t)}{0,16 \text{ ms}^{-2}} \quad (7)$$

2.5 Anzeige Größen

Anzeige Größen sind die im Anzeigeteil des Schwingungsmessers ausgegebenen Meßwerte und zeitabhängigen Meßgrößen. Für den Zweck dieser Norm sind dies

- a) der gleitende Effektivwert des unbewerteten Signals (siehe Abschnitt 4.1.5.1),
- b) der gleitende Effektivwert des bewerteten Signals (siehe Abschnitt 4.1.5.1),
- c) der Vektorbetrag der gleitenden Effektivwerte (siehe Abschnitt 4.1.5.5),
- d) die Maximalwerte der gleitenden Effektivwerte nach a) bis c) (siehe Abschnitt 4.1.5.3),
- e) der energieäquivalente Mittelwert des bewerteten Signals (siehe Abschnitt 4.1.5.2).

Die Anzeige Größen a) und b) beziehen sich auf die jeweilige Meßrichtung. Die gleitenden Effektivwerte a) bis c) enthalten eine Zeitbewertung nach Abschnitt 4.1.5.1, der energieäquivalente Mittelwert eine Zeitbewertung nach Abschnitt 4.1.5.2.

2.6 Ausgangssignale

Ausgangssignale sind die an den elektrischen Ausgängen des Schwingungsmessers analog oder digital bereitgestellten Signale. Für den Zweck dieser Norm sind dies

- a) das Beschleunigungssignal (nicht bandbegrenzt) oder ein der Eingangsgröße proportionales Signal,
- b) ein Signal, das den Anzeige Größen in Abhängigkeit der Geräteausrüstung nach Abschnitt 4.1.1 und Tabelle 1 proportional ist.

2.7 Schwingungsaufnehmer

Schwingungsaufnehmer (siehe DIN 45 661) im Sinne dieser Norm sind Absolutaufnehmer für die jeweils gewählte Eingangsgröße. Ausgangsgröße des Schwingungsaufnehmers ist ein elektrisches Signal, das der Eingangsgröße proportional ist. (aus: DIN 45 669 Teil 1/01.81)

2.8 Zwischenglied

Das Zwischenglied bildet aus der Ausgangsgröße des Schwingungsaufnehmers das unbewertete Signal (siehe Abschnitt 2.4.1) und führt die Bandbegrenzung des Arbeitsfrequenzbereiches nach Abschnitt 4.1.3 durch. (aus: DIN 45 669 Teil 1/01.81)

Anmerkung: Zwischenglieder können Verstärker, Integrierer, Differenzierer, Frequenzgangentzerrer für den Schwingungsaufnehmer, Bandbegrenzungsfiler, Analog-Digital-Wandler oder Kombinationen hiervon beinhalten.

2.9 Bewertungsfilter

Das Bewertungsfilter ist der Teil des Schwingungsmessers, in dem aus dem unbewerteten Signal das entsprechende frequenzbewertete Signal (KB -Signal) gebildet wird. (aus: DIN 45 669 Teil 1/01.81)

2.10 Anzeigeteil

Der Anzeigeteil ist der Teil des Schwingungsmessers, in dem aus dem unbewerteten oder bewerteten Signal die Anzeige-Größen nach Abschnitt 2.5 gebildet und angezeigt werden. (aus: DIN 45 669 Teil 1/01.81)

2.11 Elektrische Ausgänge

Die elektrischen Ausgänge dienen zur Weitergabe der Ausgangssignale. (aus: DIN 45 669 Teil 1/01.81)

2.12 Meßrichtung

Die Meßrichtungen für die Schwingungsmessung am Arbeitsplatz sind die kartesischen Koordinaten x , y und z , die für Schwingungseinwirkungen auf den Menschen in VDI 2057 Blatt 1 festgelegt sind.

2.13 Richtungsfaktor

Der Richtungsfaktor beschreibt die Empfindlichkeit des Schwingungsaufnehmers bei Anregungen, die senkrecht zur Hauptmeßrichtung erfolgen.

2.14 Arbeitsfrequenzbereich

Der Arbeitsfrequenzbereich erstreckt sich von $f_u = 1$ Hz bis $f_o = 80$ Hz für Ganzkörper-Schwingungen, von $f_u = 8$ Hz bis $f_o = 1000$ Hz für Hand-Arm-Schwingungen.

2.15 Meßbereich

Der Meßbereich kennzeichnet den Teil des Anzeigebereiches, in dem die Anforderungen dieser Norm erfüllt sind.

Anmerkung 1: Bei umschaltbaren Meßbereichen ist einer der Meßbereiche, der den Wert $K = 0,2$ enthält, vom Hersteller als Bezugsmeßbereich anzugeben.

Anmerkung 2: Die Grenzen des Meßbereiches werden durch die Anforderungen nach Abschnitt 4.2.3 f) und g) bestimmt.

2.16 Frequenzbewertung

Die Frequenzbewertung ist eine von der Frequenz abhängige Änderung des Meßsignals aufgrund eines Amplituden- und Phasenfrequenzganges. Der Phasenfrequenzgang wird in dieser Norm nicht berücksichtigt, da die Beurteilungsgrößen

durch Effektivwertbildung ermittelt werden. Die Frequenzbewertung wird durch eine Bandbegrenzung nach Abschnitt 2.8 ergänzt.

2.17 Übertragungsfaktor

Der Übertragungsfaktor im Sinne dieser Norm ist bei harmonischen Schwingungen das Verhältnis der Amplitude eines bewerteten Beschleunigungssignals zur Amplitude der Eingangsgröße nach Abschnitt 2.1 am Schwingungsaufnehmer.

2.18 Amplitudenfrequenzgang

Der Amplitudenfrequenzgang ist die Funktion des Übertragungsfaktors in Abhängigkeit von der Frequenz.

2.19 Normierung

Die Normierung ist die Division des bandbegrenzten und bewerteten Beschleunigungssignals durch eine in Abschnitt 4.1.5.4 festgelegte Beschleunigung.

3 Bezeichnung

Zur Bezeichnung eines Schwingungsmessers nach dieser Norm gehören außer der Benennung „Schwingungsmesser“ und der DIN-Hauptnummer folgende Angaben:

- Anzahl der Aufnehmer (1, 2 oder 3) entsprechend der Anzahl der Komponenten des kartesischen Koordinatensystems;
- Meßrichtung:
 - H horizontal
 - V vertikal
 - HV horizontal und vertikal
 - U unabhängig von der Lage der Hauptmeßrichtung zur Schwerkraftichtung (universell);
- Anforderungsgruppe hinsichtlich Umweltverträglichkeit, siehe Abschnitt 4.2.5;
- Zahlenwerte der unteren Grenze f_u und der oberen Grenze f_o des Arbeitsfrequenzbereiches in Hz.

Beispiel: Bezeichnung eines Schwingungsmessers für die Messung mit einem Aufnehmer (1), universell für alle Meßrichtungen (U), einer Anforderungsgruppe 1 und einem Arbeitsfrequenzbereich 1 bis 80 Hz (1-80):

Schwingungsmesser DIN 45 671 – 1 U 1 1-80

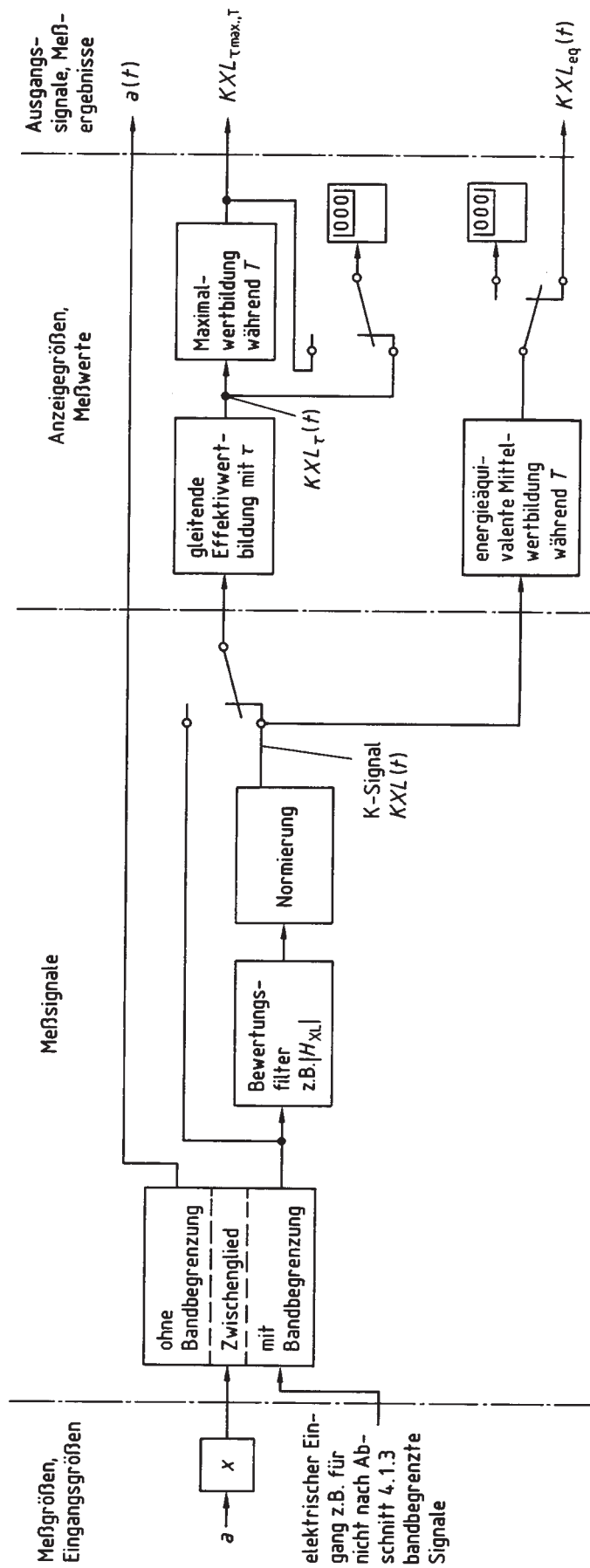
4 Anforderungen

4.1 Allgemeine Anforderungen

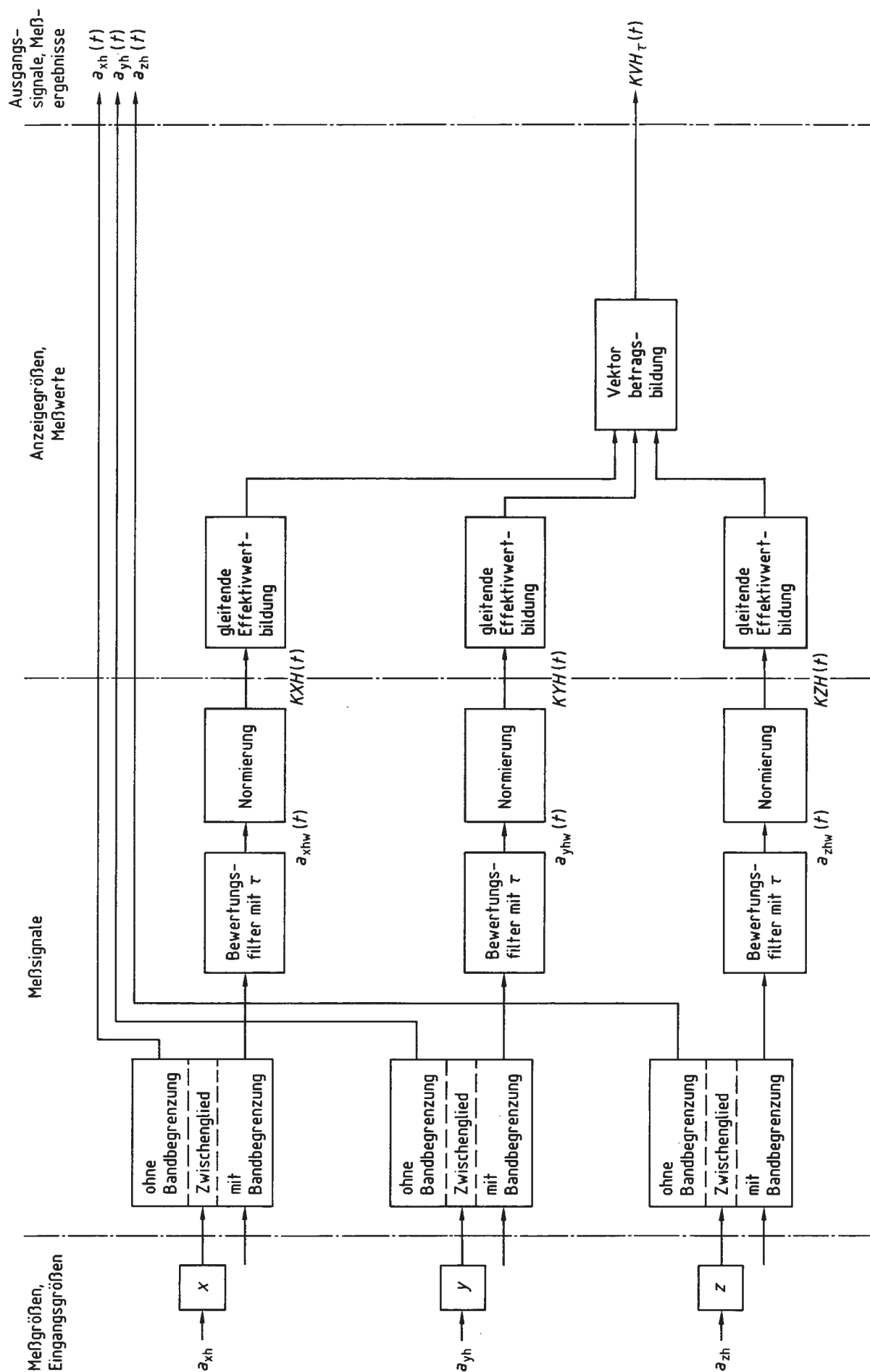
Der in dieser Norm definierte Schwingungsmesser soll für möglichst viele Anwendungsziele bei der Messung von Schwingungen am Arbeitsplatz geeignet sein. Die verschiedenen Anwendungsziele stellen unterschiedliche Anforderungen an den Schwingungsmesser. Deshalb sind verschiedene Geräteausstattungen möglich, die dies berücksichtigen.

Zur Beschreibung der Anforderungen an den Schwingungsmesser wird dieser in folgende Funktionsgruppen aufgeteilt (siehe Bild 1 und Abschnitt 4.1.9): Schwingungsaufnehmer, Zwischenglied, Bewertungsfilter, Normierung, Anzeigeteil, elektrische Ausgänge. Diese müssen jedoch nicht notwendigerweise als selbständige Baugruppen realisiert sein.

Wird das Gerät mit einer Batterie betrieben, so müssen Prüfmöglichkeiten vorgesehen werden, um sicherzustellen, daß die Batteriespannung einen Betrieb des Gerätes unter Einhaltung der Anforderungen dieser Norm ermöglicht. Es sollte möglich sein, die Batterieprüfung durchzuführen, ohne die Messung zu beeinflussen.



a) Blockschahtplan, einkanalg mit Maximalwertbildung
Geräteausstattung C



b) Blockschahtplan, dreikanalig mit Resultierendenbildung, (Geräteausstattung E)

Bild 1. Mögliche Blockschahtpläne eines Schwingungsmessers

Tabelle 1. **Geräteausstattungen**

Geräteausstattung	Anwendungsziel	Bewertungsfilter	τ in s	Anzeige Größen *)			Umwelteinflüsse				
				K_{eq}	$KV_{\tau}(t)$	K_{tmax}	Anforderungen für				
							Schwingungen	elektromagnetische Felder	magnetische Felder	Temperatur	Feuchte
A	Ganzkörperschwingungen in Gebäuden	KX, KY, KZ	0,125	X		X	1	2	1	1	0
B	Ganzkörperschwingungen auf Landfahrzeugen	KX, KY, KZ, KXL	0,125	X			2	1	2	1	1
C	Ganzkörperschwingungen auf Wasserfahrzeugen	KB, KXL, KYL, KZL	0,125	X		X	1	2	1	2	2
D	Hand-Arm-Schwingungen im Arbeitsschutz	KH	1	X			1	0	1	1	1
E	Hand-Arm-Schwingungen für die Prüfung von Geräten, z. B. Motorsägen, Freischneider	KH (einfach)	1	X			0	0	0	0	0
		KH (dreifach)	1		X		0	0	0	0	0

*) Ein X bedeutet, daß die betreffende Anzeigegröße erforderlich ist.

4.1.1 Geräteausstattungen

Bild 1 stellt in Form von Blockschaftplänen ein mögliches Zusammenwirken von Funktionsgruppen von Schwingungsmessern dar. Es zeigt eine einkanalige Meßkette mit einer Maximalwertbildung und eine dreikanalige Meßkette mit Resultierendenbildung.

Für eingeschränkte Anwendungsziele dürfen einzelne Teile des Schwingungsmessers (und damit Meßmöglichkeiten) entfallen. Die durch reduzierte Ausstattung bedingten Einschränkungen der Meßmöglichkeiten sind im Datenblatt (siehe Abschnitt 7) ausdrücklich zu erwähnen.

Tabelle 1 gibt an, welche Anzeige Größen ein Schwingungsmesser je nach Geräteausstattung besitzen kann. Für alle Anzeige Größen sollte außer der Ablesemöglichkeit auch ein elektrischer Ausgang vorgesehen werden.

Im Regelfall sollten die in der Tabelle 1 angegebenen Anforderungen hinsichtlich der Umweltbedingungen bei den jeweiligen Geräteausstattungen erfüllt werden. Sofern sich geringere Anforderungen aus den Umweltbedingungen ergeben, sind auch Geräte zulässig, für die ein Nachweis für die angegebenen Umweltbedingungen erbracht wurde.

4.1.2 Schwingungsaufnehmer

Der Schwingungsaufnehmer ist ein Absolutaufnehmer für eine vorgegebene Meßrichtung. Es wird nicht festgelegt, nach welchem Prinzip der elektromechanische Wandler arbeitet. Für bestimmte Anwendungsziele, z. B. für Hand-Arm-Schwingungen oder für Ganzkörper-Schwingungen bei Erdbaumaschinen, muß der Schwingungsaufnehmer universell für alle Meßrichtungen, also unabhängig von der Lage der Hauptmeßrichtung zur Schwerkraftrichtung, arbeitsfähig sein.

Hinsichtlich der Ankopplung des Schwingungsaufnehmers und der Überprüfung auf Störeinflüsse siehe DIN 45 664.

4.1.3 Zwischenglied

Im Zwischenglied erfolgt eine untere und eine obere Bandbegrenzung des Arbeitsfrequenzbereiches (siehe Abschnitt 4.2.2.1), die sich asymptotisch einem Abfall von 12 dB/oct zu tieferen bzw. höheren Frequenzen annähert. Dieser Abfall ist einbezogen in den Amplitudenfrequenzgang des Schwingungsmessers, dessen Toleranzen in Abschnitt 4.2 festgelegt werden.

Anmerkung: Falls sich vom Schwingungsaufnehmer ein entsprechender Abfall des Übertragungsfaktors ergibt, kann dieser für die Realisierung der Bandbegrenzung oder des Gesamtfrequenzganges mitbenutzt werden.

4.1.4 Bewertungsfilter

Das Bewertungsfilter muß dem Frequenzgang des Schwingungsmessers den in Abschnitt 4.2.2.1 beschriebenen Verlauf geben. Zur Frequenzbewertung gehört die Bandbegrenzung nach Abschnitt 4.1.3.

4.1.5 Anzeigeteil

Der Anzeigeteil muß eine oder mehrere der Größen nach Abschnitt 2.5 bilden und anzeigen.

4.1.5.1 Gleitender Effektivwert

Der gleitende Effektivwert des bewerteten und des unbewerteten Signals wird mit den Zeitkonstanten τ von 0,125 s, 1 s, 8 s (umschaltbar) gebildet. Diese gleitende Effektivwertbildung kann analog oder digital realisiert werden. In Bild 2 ist eine gleitende Effektivwertbildung mit einem analogen Schaltkreis dargestellt, wobei $\tau = RC$ ist.

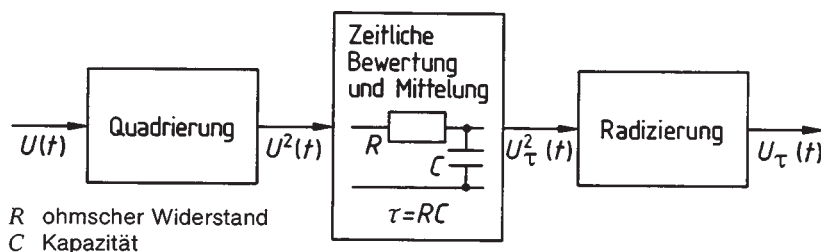


Bild 2. Schaltkreis zur Bildung des gleitenden Effektivwertes