

DIN ISO 16063-21



ICS 17.160

**Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoßaufnehmern –
Teil 21: Schwingungskalibrierung durch Vergleich mit einem
Referenzaufnehmer (ISO 16063-21:2003)**

Methods for the calibration of vibration and shock transducers –
Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer
(ISO 16063-21:2003)

Méthodes pour l'étalonnage des transducteurs de vibrations et de chocs –
Partie 21: Étalonnage de vibrations par comparaison à un transducteur de référence
(ISO 16063-21:2003)

Gesamtumfang 34 Seiten

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

Die Internationale Norm ISO 16063-21:2003 „Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer“ ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 16063-21:2003 „Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer“ ist vom ISO/TC 108/SC 3 „Use and calibration of vibration and shock measuring instruments“ unter deutscher Beteiligung erarbeitet worden. Die deutsche Übersetzung wurde im Gemeinschaftsausschuss NALS/VDI C 2 „Schwingungsmesstechnik“ ausgearbeitet.

Das Anwendungsgebiet dieser Norm ist sehr weit und umfasst alle Stufen der Kalibrierhierarchie, auf denen Vergleichskalibrierungen von Schwingungsaufnehmern durchgeführt werden können. Das Vergleichsnormale kann ein Sekundär-, Bezugs-, Gebrauchs- oder Prüfnormale für die Anwendung vor Ort sein.

Zu den im Inhalt genannten Internationalen Normen und anderen Dokumenten wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen bzw. Übersetzungen hingewiesen:

ISO 266 siehe DIN EN ISO 266

ISO 2041 siehe E DIN 1311 Bbl 1

ISO 5348 siehe DIN ISO 5348

GUM siehe DIN V ENV 13005

VIM siehe Internationales Wörterbuch der Metrologie

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

E DIN 1311 Bbl 1, *Schwingungen und schwingungsfähige Systeme — Schwingungen und Stöße — Begriffe*.

DIN V ENV 13005, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen; Deutsche Fassung ENV 13005:1999*.

DIN EN ISO 266, *Akustik — Normfrequenzen (ISO 266:1997); Deutsche Fassung EN ISO 266:1997*.

DIN ISO 5348, *Mechanische Schwingungen und Stöße — Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern (ISO 5348:1998)*.

Internationales Wörterbuch der Metrologie (International vocabulary of basic and general terms in metrology, VIM). Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 2. Auflage 1994.

Deutsche Übersetzung

Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoßaufnehmern

Teil 21: Schwingungskalibrierung durch Vergleich mit einem Referenzaufnehmer

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Messunsicherheit.....	6
4 Anforderungen an die Geräte und die Umgebungsbedingungen	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Umgebungsbedingungen	8
4.3 Referenzaufnehmer	8
4.4 Einrichtung zur Schwingungserregung	8
4.5 Spannungsmesseinrichtung	10
4.6 Klirrfaktor-Messeinrichtung.....	10
4.7 Oszilloskop.....	11
4.8 Phasenverschiebungs-Messeinrichtung.....	11
5 Kalibrierung	11
5.1 Vorzugswerte für die Amplituden und Frequenzen	11
5.2 Anforderungen an die Messung	12
5.3 Vorgehensweise bei der Kalibrierung	12
6 Ermittlung des Ergebnisses	13
7 Ergebnisbericht der Kalibrierung.....	14
Anhang A (normativ) Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen.....	15
Anhang B (normativ) Festlegung der Vorzeichen und der Phasenverschiebung zwischen der Bewegung und der elektrischen Ausgangsgröße des Schwingungsaufnehmers	24
Anhang C (informativ) Nomogramm zur gegenseitigen Umwandlung von Beschleunigung, Schwinggeschwindigkeit und Schwingweg	26
Anhang D (informativ) Beispiel für die Berechnung der Messunsicherheit.....	28
Literaturhinweise	34

Vorwort

Die ISO (Internationale Organisation für Normung) ist die weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitglieds Körperschaften). Die Erarbeitung Internationaler Normen obliegt den Technischen Komitees der ISO. Jede Mitglieds Körperschaft, die sich für ein Thema interessiert, für das ein Technisches Komitee eingesetzt wurde, ist berechtigt, in diesem Komitee mitzuarbeiten. Internationale (staatliche und nichtstaatliche) Organisationen, die mit der ISO in Verbindung stehen, sind an den Arbeiten ebenfalls beteiligt. Die ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) auf allen Gebieten elektrotechnischer Normung zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2, erstellt.

Die wesentliche Aufgabe Technischer Komitees besteht in der Erarbeitung Internationaler Normen. Die von den Technischen Komitees verabschiedeten internationalen Norm-Entwürfe werden den Mitglieds Körperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Die Veröffentlichung als Internationale Norm erfordert Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitglieds Körperschaften.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Die ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ISO 16063-21 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration and shock“, Unterkomitee SC 3 „Use and calibration of vibration and shock measuring instruments“, erstellt.

Diese erste Ausgabe von ISO 16063-21 ersetzt ISO 5347-3:1993, die inhaltlich überarbeitet wurde.

ISO 16063 besteht aus den folgenden Teilen mit dem Titel „Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoßaufnehmern“:

- Teil 1: Grundbegriffe
- Teil 11: Fundamentale Schwingungskalibrierung mit Laser-Interferometrie
- Teil 12: Fundamentale Schwingungskalibrierung nach der Reziprozitätsmethode
- Teil 13: Fundamentale Stoßkalibrierung mit Laser-Interferometrie
- Teil 21: Schwingungskalibrierung durch Vergleich mit einem Referenzaufnehmer
- Teil 22: Stoßkalibrierung durch Vergleich mit einem Referenzaufnehmer

Einleitung

Die Normen der Reihe ISO 16063 behandeln Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoßaufnehmern sowohl unter Standardbedingungen im Labor als auch unter Bedingungen vor Ort.

Demzufolge ist die angesprochene Gruppe von Anwendern dieses Teils von ISO 16063 entsprechend groß; sie reicht von Metrologen auf dem Gebiet der mechanischen Schwingungen bis zu Technikern, die Schwingungskenngrößen einer Maschine oder Struktur oder die Schwingungseinwirkung auf den Menschen ermitteln. Der wesentliche Aspekt bei der Anwendung dieses Teils von ISO 16063 besteht in der sorgfältigen und detaillierten Spezifikation und Ermittlung der Messunsicherheit, d. h. im Unsicherheitsbudget und der Berechnung der erweiterten Messunsicherheit, mit der die Schwingungsmessung verbunden ist.

Dieser Teil von ISO 16063 betrifft insbesondere solche Anwender, deren Schwingungsmessungen rückgeführt werden müssen auf primäre nationale oder internationale Normale über ein Sekundär-, Bezugs-, Gebrauchs- oder Prüfnormal (tragbarer Kalibrator, vorgesehen für die Anwendung vor Ort) gemäß der Definition im Internationalen Wörterbuch der Metrologie (VIM). Die angegebenen Spezifikationen für die Geräte und die Vorgehensweise sind für die Kalibrierung von Translations-Schwingungsaufnehmern (mit oder ohne Signalumformer oder Verstärker) vorgesehen, um den Betrag und (optional) die Phasenverschiebung des komplexen Übertragungskoeffizienten für Frequenzen im Bereich 0,4 Hz bis 10 kHz zu ermitteln.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 16063 beschreibt die Vergleichskalibrierung von Translations-Schwingungsaufnehmern. Obwohl die vorliegende Norm hauptsächlich die Kalibrierung durch direkten Vergleich mit einem Normal behandelt, das mittels primärer Verfahren kalibriert wurde, können die beschriebenen Verfahren auch zwischen anderen Ebenen der Kalibrierhierarchie angewandt werden.

Dieser Teil von ISO 16063 legt Vorgehensweisen fest, nach denen sich Vergleichskalibrierungen von Translations-Schwingungsaufnehmern im Frequenzbereich von 0,4 Hz bis 10 kHz durchführen lassen. Er richtet sich in erster Linie an solche Anwender, von denen gefordert wird, durch die ISO genormte Verfahren zur Schwingungsmessung unter Laborbedingungen anzuwenden, unter denen die Messunsicherheit relativ klein ist. Die vorliegende Norm kann aber auch unter Bedingungen vor Ort angewendet werden, unter denen die Messunsicherheit relativ groß sein kann.

Bei Kenntnis aller signifikanten Unsicherheitsquellen, die die Kalibrierung beeinflussen, kann nach den Verfahren, die in diesem Teil von ISO 16063 angegeben sind, die erweiterte Messunsicherheit ermittelt werden. Die vorliegende Norm erstreckt sich auch auf die Auswertung der Unsicherheit von Kalibrierungen, die mit einem Prüfnormal durchgeführt werden.

Es ist notwendig, dass bei den nach diesem Teil von ISO 16063 durchgeführten Vergleichskalibrierungen die Umgebungsbedingungen bei der Kalibrierung des Referenzaufnehmers berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Aufnehmerkalibrierungen unter extremen Umgebungsbedingungen werden in anderen Internationalen Normen behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

ISO 266, *Acoustics — Preferred frequencies*.

ISO 2041:1990, *Vibration and shock — Vocabulary*.

ISO 16063-1:1998, *Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 1: Basic concepts*.

ISO 16063-11:1999, *Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 11: Primary vibration calibration by laser interferometry*.

Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993.¹⁾

3 Messunsicherheit

3.1 Von allen Anwendern dieses Teils von ISO 16063 wird erwartet, dass sie das Unsicherheitsbudget nach Anhang A aufstellen, um die Messunsicherheit dokumentieren zu können (siehe das Beispiel in Anhang D).

Zur Unterstützung des Aufbaus von Messsystemen, die unterschiedliche Anforderungen erfüllen, werden zwei Beispiele behandelt. Für beide werden die Systemanforderungen spezifiziert und die erreichbare Unsicherheit angegeben. Beispiel 1 ist typisch für Kalibrierungen unter kontrollierten Laborbedingungen, verbunden mit der Anforderung, eine hohe Messgenauigkeit zu erzielen. Beispiel 2 ist typisch für Kalibrierungen, bei denen eine geringere Genauigkeit als die höchste akzeptiert werden kann oder wenn unter den Kalibrierbedingungen nur größere Toleranzen eingehalten werden können. Auf diese beiden Beispiele wird in diesem Teil von ISO 16063 immer wieder Bezug genommen.

a) Beispiel 1

Der Referenzaufnehmer ist primärkalibriert, und die Unsicherheit ist dokumentiert. Die Kalibrierung mag aus praktischen Gründen auf ein Gebrauchsnorm übertragen werden. Die Temperatur und andere Bedingungen werden während der Vergleichskalibrierung in engen Grenzen gehalten, wie in den entsprechenden Abschnitten angegeben.

b) Beispiel 2

Der Referenzaufnehmer hat keine Primärkalibrierung erfahren, jedoch eine rückführbare Kalibrierung (wie im VIM definiert, siehe [2]) mit angemessen dokumentierter Unsicherheit. Die Kalibrierung mag aus praktischen Gründen auf ein Gebrauchsnorm übertragen werden. Die Anforderungen an andere Parameter und die Messgeräte sind in den entsprechenden Abschnitten angegeben.

3.2 In beiden Beispielen besteht die Mindestanforderung an die Kalibrierung des Referenzaufnehmers in einer Kalibrierung unter geeigneten Referenzbedingungen (d. h. für Frequenz, Amplitude und Temperatur). Im Regelfall werden die in ISO 16063-11 spezifizierten Bedingungen gewählt.

Der verwendbare Parameterbereich ist:

Frequenzbereich: 20 Hz bis 5 000 Hz, optional 0,4 Hz bis 10 000 Hz (siehe Anmerkung^{N1)})

Dynamikbereich: 10 m/s² bis 1 000 m/s² Effektivwert, optional 0,1 m/s² bis 1 000 m/s² (frequenzabhängig)

ANMERKUNG Die angegebenen Frequenzbereiche sind nicht verbindlich; auch Einpunkt-Kalibrierungen sind zulässig.

Bei gegebener Frequenz und Amplitude der Beschleunigung, der Schwinggeschwindigkeit oder des Schwingweges ist der Dynamikbereich durch das Rauschen und die Verzerrungen des Schwingungserregers (wenn kein Filter benutzt wird) oder durch seine maximale Leistung begrenzt. (Es sind auch Techniken in Gebrauch, die den bei großen Auslenkungen auftretenden Verzerrungen federgelagerter

1) Berichtigte Ausgabe 1995

N1) Nationale Fußnote: ISO 16063-21:2003 verweist hier auf eine Anmerkung 1 statt auf die nachfolgende

Schwingungserreger durch Änderung des Zeitverlaufs der Eingangsspannung entgegenwirken.) Typische Maximalwerte für elektrodynamische Schwingungserreger, die für den Frequenzbereich von 10 Hz bis 10 kHz ausgelegt sind, sind 200 m/s² bis 1 000 m/s² Effektivwert der Beschleunigung, 0,5 m/s bis 1 m/s Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit und 5 mm Amplitude des Schwingweges. Die untere Grenze ist durch das Rauschen in den beiden Messkanälen und die benutzte Bandbreite gegeben. Typische Werte bei Messungen sind 50 m/s² bis 100 m/s² Effektivwert der Beschleunigung und 0,1 m/s Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit. Bei Kalibratoren werden üblicherweise Effektivwerte zwischen 1 m/s² und 10 m/s² verwendet. Zur Betrachtung der überdeckten Bereiche ist es zweckmäßig, eine graphische Darstellung zu nutzen, wie in Anhang C gezeigt.

Wenn Messungen bei sehr tiefen Frequenzen durchgeführt werden, ist der begrenzende Faktor in der Regel der Schwingweg. Bei 1 Hz sind typische Werte für langhubige Schwingungserreger 1 m/s² bis 2 m/s² Effektivwert der Beschleunigung oder 0,1 m/s bis 0,3 m/s Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit.

3.3 Die erreichbare Unsicherheit (erweiterte Messunsicherheit, nach ISO 16063-1 mit dem Erweiterungsfaktor 2 berechnet) für die beiden Beispiele ist in Tabelle 1 angegeben. In der Praxis können diese Grenzen überschritten werden in Abhängigkeit von der Unsicherheit, mit der der Referenzaufnehmer kalibriert wurde, vom Frequenzgang des Referenzaufnehmers und des zu kalibrierenden Aufnehmers, von den Schwingungseigenschaften des Erregers sowie von den Geräten, die als Bestandteile der Messeinrichtung verwendet werden. Es liegt in der Verantwortung des Laboratoriums oder des Endanwenders sicherzustellen, dass die angegebenen Werte der erweiterten Messunsicherheit glaubwürdig sind.

Tabelle 1 — Erreichbare Messunsicherheit des Betrags und der Phasenverschiebung des komplexen Übertragungskoeffizienten

Parameter	Beispiel 1	Beispiel 2
Betrag		
Für Beschleunigungsaufnehmer (0,4 Hz bis 1 000 Hz)	1 %	3 %
Für Beschleunigungsaufnehmer (1 000 Hz bis 2 000 Hz)	2 %	5 %
Für Beschleunigungsaufnehmer (2 kHz bis 10 kHz)	3 %	10 %
Für Weg- und Geschwindigkeitsaufnehmer (20 Hz bis 1 000 Hz)	4 %	6 %
Phasenverschiebung ^a		
Unter Referenzbedingungen ^b (d. h. Frequenz und Amplitude bzw. Effektivwert, bei denen der Referenzaufnehmer kalibriert wurde)	1°	3°
Außerhalb von Referenzbedingungen	2,5°	5°
^a Die Messung der Phasenverschiebung ist nicht obligatorisch.		
^b Folgende Referenzbedingungen nach ISO 16063-11:1999, Abschnitt 2, werden empfohlen:		
— Frequenz in Hz: 160, 80, 40, 16 oder 8 (oder Kreisfrequenz ω in rad/s: 1 000, 500, 250, 100 oder 50),		
— Beschleunigung in m/s ² (Amplitude oder Effektivwert): 100, 50, 20, 10, 5, 2 oder 1.		
ANMERKUNG Die als Beispiel angegebenen erweiterten Messunsicherheiten (z. B. 1 %) basieren auf konkreten Unsicherheitsbudgets, wie in Anhang D beispielhaft dargestellt (resultierende erweiterte Messunsicherheit 0,84 %).		

4 Anforderungen an die Geräte und die Umgebungsbedingungen

4.1 Allgemeines

Die Beispiele, auf die sich dieser Abschnitt bezieht, sind in Abschnitt 3 beschrieben.

Werden die unten angegebenen empfohlenen Spezifikationen für jedes Gerät eingehalten, lässt sich die in Abschnitt 3 für die jeweiligen Frequenzbereiche angegebene Messunsicherheit erreichen. Dies hängt von der Unsicherheit ab, mit der der Referenzaufnehmer kalibriert wurde, sowie von den Übertragungseigenschaften des Referenzaufnehmers und des zu kalibrierenden Aufnehmers. Es können aber auch andere Kombinationen von Anforderungen zur gleichen Messunsicherheit führen. Spezielle Geräte können jedoch benötigt werden, um die in Abschnitt 3 angegebenen erweiterten Messunsicherheiten bei Frequenzen unter 1 Hz einzuhalten. Es ist erforderlich, die erweiterte Messunsicherheit nach den in Anhang A angegebenen Verfahren zu dokumentieren.

4.2 Umgebungsbedingungen

Dies sind folgende:

	Beispiel 1	Beispiel 2
Raumtemperatur	$(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$	$(23 \pm 10) ^\circ\text{C}$
Relative Luftfeuchte	maximal 75 %	maximal 90 %

4.3 Referenzaufnehmer

Der Referenzaufnehmer sollte vorzugsweise in Verbindung mit dem Signalverstärker kalibriert werden.

a) Beispiel 1

Der Aufnehmer muss nach geeigneten Primärverfahren (siehe ISO 16063-11 oder andere Teile dieser Normenreihe) oder durch Vergleich mit einem Aufnehmer, der nach geeigneten Primärverfahren kalibriert wurde, kalibriert worden sein, und zwar mit einer Unsicherheit von 0,5 % (Betrag) und $0,5^\circ$ (Phasenverschiebung) bei gewählter Referenzfrequenz und Referenzbeschleunigung (die Unsicherheiten bedeuten erweiterte Messunsicherheiten, berechnet mit dem Erweiterungsfaktor 2). Bei hohen und tiefen Frequenzen sind höhere Unsicherheitswerte zulässig.

b) Beispiel 2

Der Aufnehmer muss mittels geeigneter und bekannter Verfahren mit Rückführung auf einen primären Referenzaufnehmer kalibriert worden sein, und zwar mit einer Unsicherheit kleiner als 2 % (Betrag) und 2° (Phasenverschiebung) bei gewählter Referenzfrequenz und Referenzbeschleunigung (die Unsicherheiten bedeuten erweiterte Messunsicherheiten, berechnet mit dem Erweiterungsfaktor 2). Bei hohen und tiefen Frequenzen sind höhere Unsicherheitswerte zulässig.

Der Referenzaufnehmer kann vom so genannten Rücken-an-Rücken-Typ sein, dessen obere Koppelfläche zur direkten Ankopplung des zu kalibrierenden Aufnehmers in so genannter Rücken-an-Rücken-Anordnung vorgesehen ist (siehe Bild 1). Er kann auch als Aufnehmer mit nur einer Koppelfläche ausgeführt sein, der sich an einer Ankopplungsvorrichtung erregenseitig so befestigen lässt, dass er in einer Linie (axial fluchtend) mit dem zu kalibrierenden Aufnehmer angeordnet ist. Es wird nicht empfohlen, die beiden Aufnehmer nebeneinander zu montieren, da häufig Taumelschwingungen auftreten, die große Messabweichungen verursachen. Bei Kalibratoren kann der Referenzaufnehmer in das Schwingteil integriert sein.

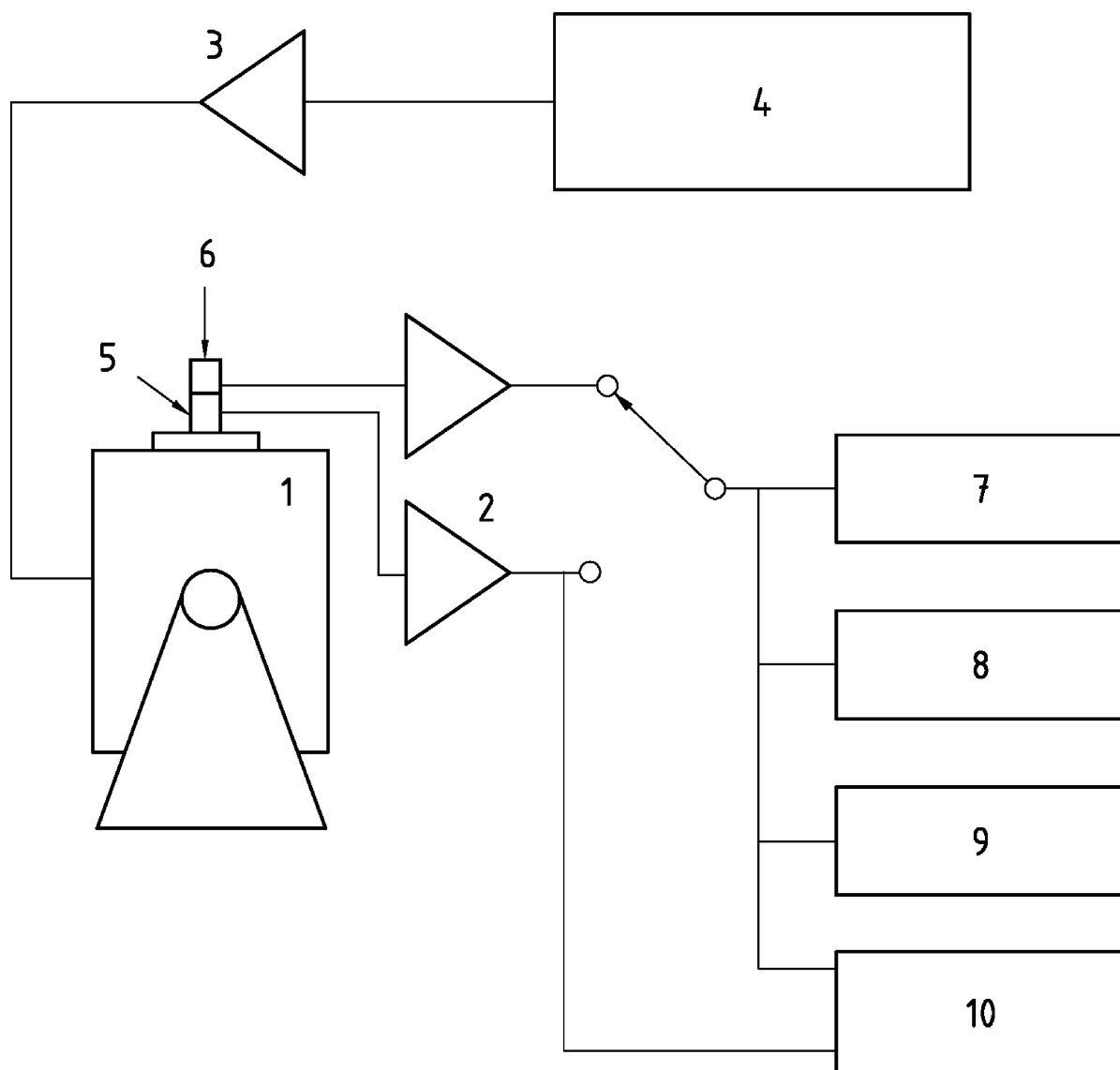
Die Abschnitte 4.4 bis 4.8 spezifizieren Gerätekenngößen, die zur Messunsicherheit beitragen.

4.4 Einrichtung zur Schwingungserregung

Die Einrichtung zur Schwingungserregung muss die Anforderungen nach Tabelle 2 erfüllen.

Tabelle 2 — Einrichtung zur Schwingungserregung

Parameter	Einheit	Beispiel 1	Beispiel 2
Unsicherheit der Frequenz	%	$\leq 0,1$	$\leq 0,2$
Stabilität der Frequenz	% vom Messwert während der Messzeit	0,1	0,2
Stabilität der Beschleunigungsamplitude	% vom Messwert während der Messzeit	0,1	0,3
Klirrfaktor bei Frequenzen > 20 Hz	%	≤ 5	≤ 10
Klirrfaktor im gesamten Frequenzbereich	%	≤ 10	≤ 20
Quer-, Biege- und Taumelschwingungen	%	≤ 10 bei $f \leq 1$ kHz ≤ 30 bei $f > 1$ kHz	
Brummen und Rauschen ($f \geq 10$ Hz)	dB unter Vollaussteuerung	≥ 50	≥ 40
Brummen und Rauschen ($f < 10$ Hz)	dB unter Vollaussteuerung	≥ 20	≥ 10



Legende

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 Schwingungserreger | 6 zu kalibrierender Aufnehmer |
| 2 Signalverstärker | 7 Voltmeter |
| 3 Leistungsverstärker | 8 Klirrfaktormessgerät für gelegentliche Überprüfungen |
| 4 Frequenzgenerator und Anzeigegerät | 9 Oszilloskop für visuelle Kontrolle (optional) |
| 5 Referenzaufnehmer | 10 Phasenmessgerät (optional) |

Bild 1 — Beispiel eines Messsystems zur Schwingungskalibrierung durch Vergleich mit einem Referenzaufnehmer

Brummen und Rauschen sind nur von Bedeutung, wenn sie innerhalb der benutzten Bandbreite der Messung liegen. Für jede Kombination aus Frequenz, Beschleunigung und Belastung, die bei der Messung verwendet wird, müssen Quer-, Biege- und Taumelschwingungen sowie Brummen und Rauschen mit den in Abschnitt 3 angegebenen Unsicherheiten konsistent sein.

Statische oder dynamische Basisdehnung, die von der Kontaktfläche in den Aufnehmer eingeleitet wird, darf das Kalibrierergebnis nicht unzulässig beeinflussen.

Alle Ankopplungsflächen zwischen beiden Aufnehmern müssen zweckentsprechende Ebenheits- und Rauheitsspezifikationen erfüllen. Bei sehr hohen Frequenzen sind enge Toleranzen einzuhalten. Die Fläche, an die der Aufnehmer angekoppelt wird, muss einen Mittenrauwert $R_a < 1 \mu\text{m}$ aufweisen. Für die Ebenheit gilt, dass der Teil der Ankopplungsfläche, der von der größten Koppelfläche eines beliebigen zu kalibrierenden Aufnehmers bedeckt wird, zwischen zwei im Abstand von $5 \mu\text{m}$ angeordneten parallelen

Ebenen liegen muss. Die Gewindebohrung zur Befestigung des Aufnehmers muss eine Rechtwinkligkeits-Toleranz von $< 10 \mu\text{m}$ einhalten, d. h. die Mittellinie der Bohrung muss innerhalb eines Zylinders mit $10 \mu\text{m}$ Durchmesser und der Höhe gleich der Bohrungstiefe enthalten sein.

Die Ankopplungsfläche des Schwingungserregers sollte senkrecht zur Bewegungsrichtung sein. Jede Abweichung vom rechten Winkel sollte im Unsicherheitsbudget berücksichtigt werden (siehe Anhang A).

ANMERKUNG 1 Multisinus-, Sinus- und Rauschgeneratoren können in Verbindung mit Frequenzanalysatoren verwendet werden. Typische Analysatoren für die schnelle Fourier-Transformation (FFT) finden Anwendung für Rausch- und Multisinussignale; Sinus-Korrelations-Analysatoren oder Frequenzgang-Analysatoren werden für diskrete Sinussignale verwendet. Die Verzerrung ist dann in der Regel ohne Bedeutung. Daher wird üblicherweise Analysatoren gegenüber Breitband-Voltmetern, die den echten Effektivwert messen, der Vorzug gegeben. Obwohl die Letzteren grundsätzlich genauer sind, reagieren sie empfindlich auf Oberwellen und andere Signale, die von der Messfrequenz abweichen. Um abzuschätzen, ob das Signal-Rausch-Verhältnis und die Linearität innerhalb festgelegter Grenzen liegen, kann die Kohärenzmessung mit spektraler Mittelung angewendet werden. Bei Rauschanregung und 64 Mittelungen stellt eine untere Kohärenzgrenze von 0,98 sicher, dass die Messabweichung aufgrund unzureichenden Signal-Rausch-Verhältnisses und Linearität für eine zweikanalige Messung kleiner als 0,9 % ist. In seltenen Fällen kann eine breitbandige Erregung jedoch unerwünschte (Quer-)Schwingungen oder Ausgangssignale bei der Messfrequenz hervorrufen, die auf nichtlineares Verhalten des Schwingungserregers oder des Aufnehmers bei anderen Frequenzen zurückzuführen sind.

ANMERKUNG 2 Die in 4.3 und 4.4 aufgeführten Geräte können in einem Kalibrator integriert sein.

4.5 Spannungsmesseinrichtung

Betrachtet werden zwei alternative Messanordnungen:

- a) Zum Einsatz kommt ein Voltmeter, das den echten Effektivwert des Ausgangssignals des Signalverstärkers misst. Die vom Referenzaufnehmer und vom zu kalibrierenden Aufnehmer stammenden Ausgangssignale werden nacheinander gemessen, wobei die Messung mit dem Referenzaufnehmer mindestens zweimal erfolgt. Das Voltmeter muss die Anforderungen nach Tabelle 3 erfüllen.

Tabelle 3 — Voltmeter als Spannungsmesseinrichtung

Parameter	Einheit	Beispiel 1	Beispiel 2
Frequenzbereich	Hz	1 bis 10 000	1 bis 10 000
Maximale Linearitätsabweichung	% vom Messwert bei größtem Signalunterschied	0,1	0,3
Maximale Abweichung zwischen zwei aufeinander folgenden Messwerten mit dem Referenzaufnehmer	%	0,1	0,3
ANMERKUNG Die letzte Reihe gibt die Wiederholpräzision der Messung an. Sie enthält nicht nur die Wiederholpräzision des Voltmeters und ist hier trotzdem als allgemeine Anforderung festgelegt.			

- b) Verwendet wird ein Messgerät, das das Spannungsverhältnis zwischen den Ausgangssignalen der beiden Signalverstärker misst. Diese Spannungsmesseinrichtung muss die in Tabelle 4 angegebenen Eigenschaften aufweisen.

Tabelle 4 — Spannungsmesseinrichtung

Parameter	Einheit	Beispiel 1	Beispiel 2
Frequenzbereich	Hz	1 bis 10 000	1 bis 10 000
Maximale Messunsicherheit	%	0,2	0,5

4.6 Klirrfaktor-Messeinrichtung

Die Klirrfaktor-Messeinrichtung (beschränkte Anwendung, siehe Anmerkung in Tabelle 5) muss den Messbereich von 1 % bis 10 % überdecken und die in Tabelle 5 angegebenen Eigenschaften aufweisen.

Tabelle 5 — Klirrfaktor-Messeinrichtung

Parameter	Einheit	Beispiel 1	Beispiel 2
Frequenzbereich	Hz	1 bis 50 000	1 bis 50 000
Maximale Messunsicherheit	% vom Messwert	10	10
ANMERKUNG Die Klirrfaktormessung ist nur für die Kalibrierung mit harmonischer Anregung notwendig und gehört nicht zum Standardverfahren. Sie erfolgt anfangs zur Überprüfung der Eigenschaften der Einrichtung zur Schwingungserregung, später jedoch nur in angemessenen Zeitintervallen oder im Zweifelsfall.			

4.7 Oszilloskop

Ein Oszilloskop oder eine ähnliche Sichtanzeige darf verwendet werden, um den Zeitverlauf der Aufnehmersignale zu beobachten.

Die Anwendung wird nachdrücklich empfohlen, ist aber nicht obligatorisch.

4.8 Phasenverschiebungs-Messeinrichtung

Die Phasenverschiebungs-Messeinrichtung muss die in Tabelle 6 angegebenen Eigenschaften aufweisen.

Tabelle 6 — Phasenverschiebungs-Messeinrichtung

Parameter	Einheit	Beispiel 1	Beispiel 2
Frequenzbereich	Hz	1 bis 10 000	1 bis 10 000
Maximale Messunsicherheit	° (Grad)	0,2	0,5

5 Kalibrierung

5.1 Vorzugswerte für die Amplituden und Frequenzen

Vorzugsweise sollten sechs Frequenzen jeweils mit zugehöriger Beschleunigung (Amplitude oder Effektivwert) aus der nachstehenden Reihe so ausgewählt werden, dass der Aufnehmerbereich gleichmäßig überdeckt wird:

a) Beschleunigung (m/s^2)

— 1, 2, 5, 10 oder dekadische Vielfache

Wenn breitbandige Signale verwendet werden, bedeuten diese Werte Gesamt-Effektivwerte.

b) Frequenz

— Ausgewählt aus der genormten Folge von Terzmittenfrequenzen (siehe ISO 266)

Werden breitbandige Signale verwendet, sollte der gewünschte Bereich durch eine oder mehrere Kalibrierungen abgedeckt werden.

Vorzugsweise sollten die gleichen Werte gewählt werden, wie sie bei der Kalibrierung des Referenzaufnehmers verwendet worden sind. Ist der Aufnehmer bei anderen Frequenzen und Beschleunigungen zu kalibrieren als denen, bei welchen die Kalibrierung des Referenzaufnehmers erfolgt ist, so sollte das bei den Frequenzen und Beschleunigungen der aktuellen Kalibrierung vorliegende Verhalten des Referenzaufnehmers berücksichtigt werden. Der resultierende Unsicherheitsbeitrag muss im Unsicherheitsbudget berücksichtigt werden (siehe Anhang A).