

DIN ISO 20816-9



ICS 17.160

Einsprüche bis 2020-01-29

Entwurf**Mechanische Schwingungen –
Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen –
Teil 9: Getriebe (ISO/DIS 20816-9:2019);
Text Deutsch und Englisch**

Mechanical vibration –
Measurement and evaluation of machine vibration –
Part 9: Gear units (ISO/DIS 20816-9:2019);
Text in German and English

Vibrations mécaniques –
Mesurage et évaluation des vibrations de machines –
Partie 9: Engrenages (ISO/DIS 20816-9:2019);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-11-29 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nals@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 51 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Allgemeines.....	9
4.1 Berücksichtigtes System	9
4.2 Auswirkungen des Systems.....	9
4.3 Messungen am Gehäuse oder an den Wellen	10
5 Messgeräte.....	10
5.1 Typ	10
5.1.1 Allgemeines.....	10
5.1.2 Messgeräte für Messungen an Wellen	10
5.1.3 Messgeräte für Messungen an Gehäusen.....	11
5.2 Messfrequenzbereich.....	11
5.3 Fehlergrenze	11
5.4 Kalibrierung.....	11
6 Schwingungsmessungen	11
6.1 Messungen an Wellen	11
6.2 Messungen an Gehäusen	12
6.3 Maßeinheiten	12
7 Prüfbedingungen.....	13
7.1 Allgemeines.....	13
7.2 Prüfanordnung.....	13
7.2.1 Werksabnahme beim Hersteller	13
7.2.2 Prüfungen am Aufstellungsort.....	13
7.3 Prüfbedingungen.....	13
8 Bewertungskriterien.....	14
8.1 Allgemeines.....	14
8.2 Bewertungszonen	14
8.3 Abnahmekriterien	14
8.4 Zonengrenzen für die Schwingungsbewertung.....	15
8.5 Klassifizierungen.....	17
9 Prüfbericht	18
9.1 Allgemeines.....	18
9.2 Hersteller	18
9.3 Betriebsdaten	18
9.4 Beschreibung des Aufbaus	18
9.5 Messgeräte.....	18
9.6 Messungen und Ergebnisse der Prüfung	18

Anhang A (informativ) Bemessungskurven für Messungen des Schwingwegs und der Schwinggeschwindigkeit.....	19
A.1 Allgemeines	19
A.2 Schwingungsamplitudenkurven.....	19
A.2.1 Allgemeines	19
A.2.2 Messgeräteeinstellungen	19
A.2.3 Gesamtwert	19
A.2.4 Bewertung der gemessenen Wellenausschläge	20
A.2.5 Bewertung der gemessenen Gehäuseschwingungen	20
A.3 Subjektive Beurteilung der Schwingungsbemessungswerte	21
A.3.1 Allgemeines	21
A.3.2 Beispiel	22
Anhang B (informativ) Auswirkungen des Systems	23
B.1 Allgemeines	23
B.2 Typische Faktoren mit Einfluss auf das System	23
B.2.1 Allgemeines	23
B.2.2 Schwingungsquellen von Antriebsmaschinen	23
B.2.3 Lasteigenschaften.....	23
B.2.4 Aufstellungs- und Montagefaktoren.....	23
B.2.5 Torsionseigenschaften des Systems.....	23
B.2.6 Laterale Eigenschaften des Systems.....	24
B.2.7 Drehzahl und Last	24
B.3 Verantwortung.....	24
Anhang C (informativ) Erwägungen zu Schwingungsmessgeräten und deren Eigenschaften	25
C.1 Allgemeines	25
C.2 Messgeräte für die Messung von Gehäuse- und Wellenschwingungen	25
C.3 Seismische Messung der Gehäuseschwingungen.....	25
C.4 Messung des Wellenausschlags	26
Literaturhinweise	27

Nationales Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108, „Mechanical vibration, shock and condition monitoring“, erarbeitet, dessen Sekretariat von ANSI (USA) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-03-03 AA „Messung und Beurteilung von Maschinenschwingungen“ im. DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 2954	siehe	DIN ISO 2954
ISO 5348	siehe	DIN ISO 5348
ISO 10816-21	siehe	DIN ISO 10816-21
ISO 10817-1	siehe	DIN ISO 10817-1
ISO 13373 (alle Teile)	siehe	DIN ISO 13373 (alle Teile)*
ISO 16063-21	siehe	DIN ISO 16063-21
ISO 16063-44	siehe	DIN ISO 16063-44
ISO 20816-1	siehe	DIN ISO 20816-1

* Es gibt deutsche Entsprechungen für ISO 13373 Teil 1, 2, 3 und 9, jedoch nicht für Teil 7.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 2954, *Mechanische Schwingungen von Hubkolbenmaschinen und von Maschinen mit rotierenden Bauteilen — Anforderungen an Schwingstärkemessgeräte*

DIN ISO 5348, *Mechanische Schwingungen und Stöße — Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern*

DIN ISO 10816-21, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 21: Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse und Getriebe*

DIN ISO 10817-1, *Meßeinrichtung für die Schwingungen rotierender Wellen — Teil 1: Erfassung der relativen und der absoluten Radialschwingungen*

DIN ISO 13373 (alle Teile), *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung*

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

DIN ISO 16063-44, *Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoßaufnehmern — Teil 44: Kalibrierung von Schwingungskalibratoren für den Einsatz vor Ort*

DIN ISO 20816-1, *Mechanische Schwingungen — Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Abnahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring*, Unterkomitee SC 2, *Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures*, erarbeitet.

Diese erste Ausgabe von ISO 20816-9 ersetzt ISO 8579-2:1993, *Acceptance code for gears — Part 2: Determination of mechanical vibrations of gear units during acceptance testing*, die 2016 zurückgezogen wurde.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 20816 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Als Grundnorm der Normenreihe ISO 20816 legt ISO 20816-1 die allgemeinen Anforderungen für die Bewertung der Schwingungen von Maschinen verschiedener Art für den Fall fest, dass die Schwingungsmessungen sowohl an nicht-rotierenden Bauteilen als auch an rotierenden Wellen durchgeführt werden.

Das vorliegende Dokument enthält spezifische Bestimmungen für die Beurteilung der Schwingungen von Getrieben mit Übersetzung ins Schnelle oder Langsame, die in separaten Gehäusen bzw. Einhausungen untergebracht sind. Es gilt für Getriebe mit einer Nennleistung von 10 kW bis 100 MW und Nenndrehzahlen zwischen 30 min^{-1} und $12\,000 \text{ min}^{-1}$ (0,5 Hz bis 200 Hz). Es kann für Abnahmeprüfungen genutzt werden sowie nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Kunde bzw. Betreiber als Leitfaden für routinemäßige Messungen im Betrieb.

Es enthält Anleitungen zur Beurteilung der Schwingungen von Getrieben beim Betrieb unter stationären Bedingungen. Das Kriterium berücksichtigt die Größe der betrachteten Schwingung. Es werden jedoch keine Kriterien für transiente Betriebszustände (Übergangszustände) bereitgestellt.

Die Bewertungsverfahren nach diesem Dokument beruhen auf der breitbandigen Messung der Schwingungen. Wegen des Fortschritts in der Messtechnik sind jedoch die schmalbandige Messung und die Spektralanalyse immer weiter verbreitet, insbesondere bei der Schwingungsanalyse, der Zustandsüberwachung und der Diagnose. Kriterien für derartige Messungen sind in diesem Dokument nicht enthalten, sie werden aber in den zutreffenden Teilen der Normenreihe ISO 13373, die Vorgaben zur Schwingungszustandsüberwachung von Maschinen enthalten, detailliert behandelt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Verfahren für die Bestimmung und Klassifizierung der mechanischen Schwingungen von Getrieben mit Übersetzung ins Schnelle oder Langsame fest, die in separaten Gehäusen bzw. Einhausungen untergebracht sind. Neben Verfahren für Gehäuse- und Wellenschwingungsmessungen legt es geeignete Messgerättypen sowie Mess- und Prüfverfahren für die Ermittlung der Schwingungsgrößen fest. Die Schwingungsklassen für die Abnahme sind enthalten.

Die Messung der Drehschwingungen von Systemen mit Getriebe wird in diesem Dokument nicht behandelt.

Es gilt primär für Abnahmeprüfungen von Getrieben, die bei Auslegungsdrehzahl, -last, -temperatur und -schmierung im Werk des Herstellers betrieben werden. Eine Prüfung des Getriebes am Aufstellungsort ist zulässig, wenn eine entsprechende Vereinbarung vorliegt und der Betrieb in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Herstellers erfolgt. Für Messungen an der antreibenden oder angetriebenen Maschine während des Betriebs am Aufstellungsort können andere Internationale Normen und eine andere Bewertung der Schwingungen erforderlich sein.

Dieses Dokument gilt für Getriebe mit einer Nennleistung von 10 kW bis 100 MW und Nenndrehzahlen zwischen 30 min^{-1} und $12\,000 \text{ min}^{-1}$ (0,5 Hz bis 200 Hz).

Dieses Dokument gilt nicht für Spezial- oder Zusatzantriebsstränge, wie integrierte Getriebekompressoren, -pumpen, -turbinen usw., oder Zahnkupplungen, die bei Gas- und Dampf-Turbogeneratoren sowie Getrieben mit Nebenantrieb eingesetzt werden.

Die in diesem Dokument enthaltenen Bewertungskriterien können für die Schwingungen der Haupteingangs- und Hauptausgangslager des Getriebes sowie für die Schwingungen der internen Wellenlager angewendet werden. Ihre Anwendbarkeit für die Bewertung des Zustands dieser Getriebe kann eingeschränkt sein. Für die Bewertung des Zustands von Getrieben sind spezielle Techniken erforderlich, die nicht Gegenstand des vorliegenden Dokuments sind.

Dieses Dokument enthält Vorgaben zur Bewertung der Stärke der folgenden breitbandig *am Aufstellungsort* gemessenen Schwingungen:

- a) radial (d. h. quer) zur Wellenachse gemessene Strukturschwingungen an allen Hauptlagergehäusen oder -ständern;
- b) Strukturschwingungen an den Axiallagergehäusen, gemessen in axialer Richtung;
- c) Schwingungen der rotierenden Wellen, radial (d. h. quer) zur Wellenachse an oder neben den Hauptlagern gemessen;
- d) Strukturschwingungen für die Messung der Zahneingriffsfrequenzen am Gehäuse.

Diese beziehen sich auf Schwingungen unter den üblichen stationären Betriebsbedingungen.

ANMERKUNG Schwingungen unter anderen (nicht-stationären) Bedingungen, also in Übergangszuständen, wie Hochlauf, Auslauf, Belasten (Lastaufnahme) und Laständerung sind nicht Gegenstand dieses Dokuments.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments 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).

ISO 2041, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary*

ISO 2954, *Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery — Requirements for instruments for measuring vibration severity*

ISO 10817-1, *Rotating shaft vibration measuring systems — Part 1: Relative and absolute sensing of radial vibration*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 2041 und die folgenden Begriffe.

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

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Getriebe

mechanisches Eingangs-/Ausgangsgerät mit einer Reihe von mindestens zwei ineinandergreifenden Zahnrädern

4 Allgemeines

4.1 Berücksichtigtes System

Bei Prüfungen im Werk des Herstellers sollten die Messungen und Prüfungen am Getriebe so durchgeführt werden, dass mögliche Auswirkungen des Systems (siehe Anhang B) minimiert werden. Bei Prüfungen am Aufstellungsort können die antreibenden und angetriebenen Maschinenkomponenten, die Befestigung und weitere Faktoren sich auf die Schwingungen des Getriebes auswirken. Für Messungen an der antreibenden oder angetriebenen Maschine während des Betriebs am Aufstellungsort können andere Internationale Normen und eine andere Bewertung der Schwingungen erforderlich sein.

4.2 Auswirkungen des Systems

Die Schwingungsgrößen des Getriebes während des Betriebs am Aufstellungsort können beeinträchtigt werden durch Faktoren, auf die der Hersteller des Getriebes keinen Einfluss hat, siehe Auflistung in Anhang B. Vorzugsweise werden bei der Entwicklung eines Kraftübertragungssystems bereits in der ersten Entwurfsphase Schätzungen zu den Schwingungen des gesamten Systems durchgeführt und die Auswirkungen des Systems untersucht. Die Verantwortung für diese Untersuchung sollte in dieser Phase eindeutig festgelegt werden. Über die entsprechende Entscheidung sollten alle Interessenträger informiert werden.

4.3 Messungen am Gehäuse oder an den Wellen

Die Schwingungen eines Getriebes können auf zwei verschiedene Weisen gemessen werden, am Gehäuse (Einhausung) oder an den Wellen. Gehäuseschwingungsmessungen werden vorzugsweise bei Getrieben mit Wälzlagern durchgeführt, bei denen wenig Spiel im Lager vorliegt und die relative Bewegung zwischen Welle und Gehäuse üblicherweise gering ist.

Bei Getrieben mit Gleitlagern sind sowohl Wellen- als auch Gehäuseschwingungsmessungen üblich. Wellenschwingungsmessungen können detaillierte Informationen liefern, die bei Gehäuseschwingungsmessungen möglicherweise nicht zutage kommen. Der Frequenzbereich ist dabei jedoch eingeschränkt (in der Regel bis zu 500 Hz).

Besondere Sorgfalt ist bei der Auswahl des Messgeräts für eine bestimmte Kombination aus Getriebe und Betriebsbedingungen erforderlich, da jedes Messgerät individuelle Eigenschaften aufweist (siehe Anhang C). Wo möglich und zulässig, ist es nützlich, eine Kombination aus Wellen- und Gehäuseschwingungsmessungen zu nutzen, um die absolute Bewegung eines Getriebes oder einer Welle zu ermitteln.

Wenn die Betriebsbedingungen bei der Abnahmeprüfung erheblich von den Betriebsbedingungen am Aufstellungsort abweichen, müssen die Unterschiede bei der Auswertung der Schwingungsdaten berücksichtigt werden.

5 Messgeräte

5.1 Typ

5.1.1 Allgemeines

Die Schwingungen müssen mithilfe eines Aufnehmers und eines Messgeräts mit einer über einen bekannten Frequenzbereich hinweg bekannten Fehlergrenze für die Messung von Schwingbeschleunigung, Schwinggeschwindigkeit und Schwingweg (nach Bedarf) gemessen werden. Zudem muss das Messgerät ein elektrisches Signal mit einer bekannten Fehlergrenze bezogen auf den/die ausgewählten Parameter ausgeben. Beim Einsatz des Aufnehmers müssen dessen Kalibriergrenzen für das angewendete Ankopplungsverfahren und die vorherrschenden Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Magnetfeld, Oberflächenbeschichtung usw. beachtet werden.

In Bezug auf den Typ und die Nutzung der Messgeräte müssen die Vorgaben in ISO 2954 für Gehäuseschwingungsmessungen und ISO 10817-1 für Wellenschwingungsmessungen eingehalten werden. Die Messgeräte sollten vorzugsweise eine Einrichtung für Zeit- und Spektralfrequenzanalysen umfassen.

5.1.2 Messgeräte für Messungen an Wellen

Als Aufnehmer für die Messung der relativen Wellenschwingungen wird ein berührungslos wirkender Aufnehmer oder eine berührungslose Sonde empfohlen.

Das verwendete Messgerät muss das Ablesen von Spitzen- oder Spitze-Spitze-Werten des Schwingwegs erlauben.

ANMERKUNG Auf der Welle gleitende Aufnehmer werden üblicherweise nicht mehr eingesetzt. Ein solcher Aufnehmer kann akzeptabel sein, wenn er bereits angebracht ist und die Drehzahl der Welle unter $3\,000\text{ min}^{-1}$, die Signalfrequenz unter 200 Hz und die Oberflächenreibungsgeschwindigkeit unter 30 m/s liegen.

5.1.3 Messgeräte für Messungen an Gehäusen

Als Aufnehmer für die Messung der Gehäuseschwingungen wird ein seismischer Aufnehmer empfohlen, der die Schwinggeschwindigkeit bzw. -beschleunigung misst. Für die Messung von Schwingbeschleunigung, Schwinggeschwindigkeit und Schwingweg wird vorzugsweise ein Beschleunigungsaufnehmer verwendet. Die Erfassungsgeräte sollten in der Lage sein, die Effektivwerte der Schwinggeschwindigkeit in Millimetern je Sekunde anzuzeigen. Da das Ankopplungsverfahren sich auf den Frequenzgang des Aufnehmers auswirken kann, sollte dieser vorzugsweise mit einer Schraube, einem Bolzen oder Klebstoff befestigt werden. Magnetisch befestigte Beschleunigungsaufnehmer können zugelassen werden, wenn die maximale Grundfrequenz des Zahneingriffs unter 2 000 Hz liegt. Gehäusemessungen mithilfe von Handmessgeräten sind für Abnahmeprüfungen grundsätzlich nicht zulässig.

ANMERKUNG Informationen zur Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern sind in ISO 5348 enthalten.

5.2 Messfrequenzbereich

Der Messfrequenzbereich des Messgeräts muss die Messung von der Hälfte der minimalen Wellendrehzahl bis hin zum mindestens 3,5-Fachen der maximalen Zahneingriffsfrequenz ermöglichen.

Der Frequenzbereich für die Messung des Wellenausschlags (Schwingweg der Welle) sollte von 2 Hz bis mindestens 500 Hz gehen. Der Frequenzbereich für die Messung der Schwinggeschwindigkeit des Gehäuses sollte von 10 Hz bis mindestens 2 000 Hz gehen. Der Frequenzbereich für die Messung der Schwingbeschleunigung sollte von 10 Hz bis 5 000 Hz gehen. Bei Bauteildrehzahlen oder Zahneingriffsfrequenzen außerhalb dieser Bereiche sollten Hersteller und Kunde angepasste Frequenzbereiche vereinbaren.

5.3 Fehlergrenze

Das sowohl den Aufnehmer als auch die Messgeräte umfassende Messsystem muss in der Lage sein, die Schwingungsgröße mit einer Fehlergrenze von 10 % des Ablesewerts über den gesamten Betriebsfrequenzbereich hinweg zu messen und anzuzeigen.

5.4 Kalibrierung

Für Abnahmeprüfungen müssen die Schwingungsmessgeräte anhand eines Referenzsignals überprüft werden. Jegliche spezifizierten Anpassungen müssen unmittelbar vor der Durchführung einer Reihe von Schwingungsmessungen im Rahmen der Getriebeabnahme umgesetzt und unmittelbar nach der Durchführung einer solchen Messreihe überprüft werden.

Für Messungen am Aufstellungsort sollte in der Regel mindestens einmal im Jahr eine Kalibrierung des gesamten Messsystems durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Hinweise zur Kalibrierung von Aufnehmern durch Vergleich enthält ISO 16063-21.

ANMERKUNG 2 Hinweise zur Kalibrierung von Aufnehmern am Aufstellungsort enthält ISO 16063-44.

6 Schwingungsmessungen

6.1 Messungen an Wellen

Der Schwingweg der Wellen sollte vorzugsweise relativ zum Gehäuse gemessen werden. Dazu sollten berührungslos wirkende Aufnehmer verwendet werden, die so nah wie möglich an einem Lager positioniert und an feststehenden Teilen des Gehäuses befestigt werden. Diese sind üblicherweise paarweise mit orthogonaler Ausrichtung angebracht, um radiale Messungen durchzuführen. Wellenschwingungen können auch axial gemessen werden, insbesondere wenn Axialgleitlager verbaut sind. In der Regel ist nur ein

Axialaufnehmer je Welle erforderlich. Die Anzahl und Position der Aufnehmer müssen zwischen dem Käufer und dem Hersteller vereinbart werden. Hinweise zur Befestigung von berührungslosen Sonden sind in ISO 10817-1 enthalten.

Bevor das Getriebe auf die Nenn-Betriebsdrehzahl(en) gebracht wird, darf der Wellenausschlag bei niedriger Drehzahl gemessen werden. Dabei muss das Messsystem in der Lage sein, auch im tieffrequenten Bereich zu messen. Bei solchen Messungen kann aber nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass sie zuverlässig Auskunft über die Laufabweichung der Welle unter den üblichen Betriebsbedingungen geben, da sie beispielsweise von zeitweiligen Verbiegungen der Welle, unregelmäßigen Bewegungen der Welle innerhalb des Lagerspiels und axialen Bewegungen beeinflusst sein können. Die Subtraktion der Messwerte bei niedriger Drehzahl von den Schwingungsmesswerten bei Nenn-Betriebsdrehzahl sollte nicht ohne besondere Beachtung der vorgenannten Einflussfaktoren ausgeführt werden; es kann sich sonst eine falsche Deutung der Maschinenschwingungen ergeben.

Die mechanische und elektrische Laufabweichung sollte 25 % des zulässigen Schwingwegs bei der Drehfrequenz der Welle bzw. 6 µm vorzugsweise nicht überschreiten, wobei der größere Wert gilt.

6.2 Messungen an Gehäusen

Die Gehäuseschwingungen müssen an einem feststehenden Teil des Gehäuses wie beispielsweise einem Lagerbock gemessen werden. Die Messungen sollten nicht an Teilen des Gehäuses durchgeführt werden, die nicht als Stützstruktur für die Lager dienen, da diese keine Auskunft über die Getriebepformance geben. Die Messungen müssen in bis zu drei orthogonalen Richtungen durchgeführt werden, von denen zwei auf einer Ebene senkrecht zur Drehachse der Zahnräder liegen. Ist die Lastzone des Lagers bekannt, wird eine radiale Messung in dieser Richtung bevorzugt. Anderenfalls werden Messungen in horizontaler, vertikaler und axialer Richtung bevorzugt. Axiale Messungen können zusätzliche Informationen zu Mängeln wie Fehlansrichtungen oder Unwuchten im Getriebe liefern.

Es wird empfohlen, Messungen an allen zugänglichen Lagern eines Getriebes durchzuführen. Ist ein Lagerbock nicht zugänglich, darf der nächstmögliche Ankopplungspunkt verwendet werden, wobei der Übertragungsweg vom Lager bis zu diesem Punkt zu berücksichtigen ist. Die Anzahl und Position der Aufnehmer sollten zwischen dem Käufer und dem Hersteller vereinbart werden.

6.3 Maßeinheiten

Die bevorzugten Maßeinheiten sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Maßeinheiten

Messgröße	Einheit
Schwingweg (Spitze-Spitze-Wert)	µm
Schwinggeschwindigkeit (Effektivwert)	mm/s
Schwingbeschleunigung (Spitzenwert)	m/s ²
Frequenz	Hz

7 Prüfbedingungen

7.1 Allgemeines

Schwingungsmessungen an Getrieben können in den folgenden Fällen durchgeführt werden:

- Werksabnahme beim Hersteller;
- Abnahmeprüfung am Aufstellungsort;
- Prüfungen während des Betriebs am Aufstellungsort.

Für die verschiedenen Fälle können spezielle Vorgaben für Schwingungsmessungen erforderlich sein: Hersteller und Kunden sollten für jeden Fall Vereinbarungen zu der Art der Messung und den Abnahmewerten treffen – und dies in einer frühen Phase der Verhandlungen.

7.2 Prüfanordnung

7.2.1 Werksabnahme beim Hersteller

Der Mechanismus, der für den Antrieb des Getriebes bei der Werksabnahme genutzt wird, liegt in der Verantwortung des Herstellers, sofern nicht anderweitig mit dem Käufer ausgehandelt.

Der Triebstrang, die antreibende Maschine, das Getriebe und jegliche Lasten, die bei den Prüfungen verwendet werden, müssen entweder mithilfe der Kupplungen verbunden werden, die auch beim Betrieb am Aufstellungsort zum Einsatz kommen, oder mithilfe von Kupplungen mit ähnlichen effektiven überhängenden Massen. Das Getriebe darf ohne Last oder mit einer geringen Last für einen stabileren Betrieb geprüft werden oder in Übereinstimmung mit den in 7.3 ausgeführten Bedingungen.

7.2.2 Prüfungen am Aufstellungsort

Für Prüfungen am Aufstellungsort müssen die Getriebe in der Konfiguration montiert sein, die für den Betrieb am Aufstellungsort zwischen Hersteller und Kunde vereinbart wurde.

7.3 Prüfbedingungen

Die folgenden Bedingungen müssen erfüllt werden, sofern nicht anderweitig zwischen dem Hersteller des Getriebes und dem Käufer vereinbart.

- a) Bei der Prüfung muss das Getriebe mit der vorgesehenen Betriebsdrehzahl oder, wenn es auf den Betrieb mit verschiedenen Drehzahlen ausgelegt ist, jeweils mit der minimalen, der maximalen und der mittleren Drehzahl des angegebenen Betriebsdrehzahlbereichs betrieben werden.
- b) Bei der Prüfung muss das Getriebe in der vorgesehenen Drehrichtung oder, bei Getrieben mit umkehrbarer Drehrichtung, in beide Richtungen betrieben werden.
- c) Bei der Prüfung muss das Getriebe innerhalb des Auslegungslastbereichs betrieben werden.
- d) Bei der Prüfung muss das Getriebe mit dem für den Betrieb vorgesehenen Schmiersystem und einem Schmierstoff mit der für den Betrieb vorgesehenen Viskosität betrieben werden.
- e) Bei der Prüfung muss das Getriebe innerhalb des Auslegungstemperaturbereichs betrieben werden.

8 Bewertungskriterien

8.1 Allgemeines

Die Anleitungen gelten für stationäre Betriebsbedingungen bei der festgelegten Nenn-Betriebsdrehzahl und entsprechenden Lastbereichen, einschließlich der üblichen langsamen Änderungen der Leistungsabgabe. Die angegebenen Schwingungswerte stellen Zielwerte dar; sie sind ein Mittel, um sicherzustellen, dass grobe Fehler oder unrealistische Anforderungen vermieden werden. Sie dienen als Grundlage für die Festlegung von Abnahmekriterien.

Die angegebenen Werte basieren auf Erfahrungen mit Maschinen dieser Art. Wenn sie beachtet werden, kann ein zufriedenstellender Betrieb erwartet werden.

Die Bewertungskriterien gelten nur für diejenigen Schwingungen, die vom Getriebe selbst erzeugt werden, und nicht für Schwingungen, die aus der Umgebung auf das Getriebe übertragen werden. Wenn der Verdacht besteht, dass (sowohl stationäre als auch temporäre) externe Schwingungen einen signifikanten Einfluss haben, sollten Messungen bei abgeschalteter Maschine durchgeführt werden. Wenn die Größe der von außen übertragenen Schwingungen nicht im zulässigen Bereich ist, sollten geeignete Maßnahmen getroffen werden, um dieses Problem zu beheben.

8.2 Bewertungszonen

Der Maximalwert der an jedem Messpunkt gemessenen Schwingungsgröße wird anhand von vier Bewertungszonen beurteilt.

Die folgenden Bewertungszonen erlauben eine Beurteilung der Schwingungen einer Maschine bei Nenn-Betriebsdrehzahl unter üblichen stationären Betriebsbedingungen und geben Hinweise auf möglicherweise notwendige Maßnahmen.

Zone A: Die Schwingungen neu in Betrieb gesetzter Maschinen liegen gewöhnlich in dieser Zone.

ANMERKUNG Der erforderliche Aufwand, um Schwingungen in Zone A zu erreichen, kann unverhältnismäßig und unnötig sein.

Zone B: Maschinen, deren Schwingungen in dieser Zone liegen, werden üblicherweise als geeignet angesehen, ohne Einschränkungen im Dauerbetrieb zu laufen.

Zone C: Maschinen, deren Schwingungen in dieser Zone liegen, werden üblicherweise als nicht geeignet angesehen, ständig im Dauerbetrieb zu laufen. Im Allgemeinen darf die Maschine aber für eine begrenzte Zeit in diesem Zustand betrieben werden, bis sich eine günstige Gelegenheit für Abhilfemaßnahmen ergibt.

Zone D: Schwingungswerte innerhalb dieser Zone werden üblicherweise als so gefährlich angesehen, dass Schäden an der Maschine entstehen können.

8.3 Abnahmekriterien

Die Abnahmekriterien sollten stets zwischen dem Lieferanten der Maschine und dem Kunden vereinbart werden, wozu vorherige Verhandlungen nahegelegt werden.

Die Bewertungszonen stellen eine Grundlage zur Festlegung von Abnahmekriterien für neue oder instandgesetzte Maschinen dar, jedoch sind die den Zonengrenzen zugeordneten Zahlenwerte nicht dazu bestimmt, als Abnahmespezifikation zu dienen.

In der Vergangenheit wurden Abnahmewerte für neue Maschinen in Zone A oder Zone B festgelegt, sie überschreiten aber in der Regel nicht das 1,25-Fache des Zonengrenzwerts A/B.

Andere Abnahmekriterien können basierend auf den spezifischen Konstruktionseigenschaften und/oder der Flottenerfahrung mit ähnlichen Geräten vereinbart werden.

Vertragliche Abnahmeprüfungen müssen mit einer klar definierten Dauer und ebenso definierten Betriebsparametern (z. B. Last, Temperatur, Schmierung) durchgeführt werden.

Nach dem Austausch von Hauptkomponenten sowie nach Instandhaltungs- oder Wartungsaktivitäten müssen die Abnahmekriterien den Umfang der Aktivität und das Schwingungsverhalten vor der Wartung berücksichtigen.

8.4 Zonengrenzen für die Schwingungsbewertung

Richtwerte für Schwingungsgrenzen sind in den Tabellen 2, 3 und 4 angegeben.

Tabelle 2 — Werte des Schwingwegs der Welle an den Zonengrenzen

Bemessungswert des Schwingwegs	Spitze-Spitze-Wert des relativen Schwingwegs der Welle an den Zonengrenzen		
	μm		
	Zonengrenze		
DR	A/B	B/C	C/D
31,5	20,0	31,5	50
50	31,5	50	80
80	50	80	125
125	80	125	200
200	125	200	315

Tabelle 3 — Werte der Schwinggeschwindigkeit des Gehäuses an den Zonengrenzen

Bemessungswert der Schwinggeschwindigkeit	Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit des Gehäuses an den Zonengrenzen		
	mm/s		
	Zonengrenze		
VR	A/B	B/C	C/D
3,15	2,00	3,15	5,0
5	3,15	5,0	8,0
8	5,0	8,0	12,5
12,5	8,0	12,5	20,0
20	12,5	20,0	31,5

Tabelle 4 — Werte der Schwingbeschleunigung des Gehäuses an den Zonengrenzen

Bemessungswert der Schwingbeschleunigung	Wahrer Spitzenwert der Schwingbeschleunigung des Gehäuses an den Zonengrenzen		
	m/s ²		
	Zonengrenze		
AR	A/B	B/C	C/D
5,0	3,15	5,0	8,0
8,0	5,0	8,0	12,5
12,5	8,0	12,5	20,0
20,0	12,5	20,0	31,5
31,5	20,0	31,5	50,0
50,0	31,5	50,0	80,0
80,0	50,0	80,0	125,0
125,0	80,0	125,0	200,0
200,0	125,0	200,0	315,0

Die Zonengrenzen gelten für Schwingungsmessungen, die unter stationären Betriebsbedingungen bei der Nenn-Betriebsdrehzahl erfolgen. Die Zahlenwerte der Zonengrenzen wurden aus repräsentativen Daten ermittelt, die von Herstellern und Betreibern zur Verfügung gestellt und ursprünglich in ISO 8579-2:1993¹ veröffentlicht wurden.

In den meisten Fällen stellen die Werte sicher, dass die auf die Lagerabstützung und das Fundament übertragenen Kräfte in vertretbarem Rahmen bleiben und die Lagerspiele eingehalten werden. In manchen Fällen können es jedoch bei einer bestimmten Maschinenart ihre speziellen Eigenschaften oder die gesammelte Erfahrung erfordern, andere Werte (höhere oder niedrigere) für die Zonengrenzen zu verwenden. Beispielsweise sollte der relative Wellenausschlag 70 % des verfügbaren Lagerspiels in der Regel nicht überschreiten.

ANMERKUNG Die Tabellen 2 und 3 basieren auf Kurven, die das Schwingungsbemessungssystem für Messungen des Wellenausschlags und der Schwinggeschwindigkeit des Gehäuses abbilden, das in den Bildern A.1 und A.2 dargestellt ist. ISO 8579-2:1993 enthielt keine Anleitungen für Messungen der Schwingbeschleunigung. Zu diesem Zweck wurde nun jedoch Tabelle 4 ergänzt, deren Inhalte ebenfalls von Bild A.2 (Bemessungskurven für Gehäuseschwingungen) abgeleitet wurden. Die Bemessungseffektivwerte der Schwinggeschwindigkeit wurden am Umwandlungspunkt von 280 Hz in den Spitzenwert der Schwingbeschleunigung umgewandelt.

In Abhängigkeit von der Anwendung und der Leistung sowie an anderen Messorten und bei transienten Betriebszuständen dürfen höhere Schwingungen zugelassen werden. Anhang A enthält ein Beispiel für eine subjektive Auslegung der Richtwerte unter Berücksichtigung von Variationen in Bezug auf die Art und die Leistung des Getriebes.

¹ Zurückgezogen; siehe Vorwort.