

DIN ISO 20816-4



ICS 17.160; 27.040

Entwurf

Einsprüche bis 2018-03-05
Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 7919-4:2018-01 und
DIN ISO 10816-4:2018-01

**Mechanische Schwingungen –
Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen –
Teil 4: Gasturbinen über 3 MW mit Gleitlagern (ISO/DIS 20816-4:2017);
Text Deutsch und Englisch**

Mechanical vibration –
Measurement and evaluation of machine vibration –
Part 4: Gas turbines in excess of 3 MW, with fluid-film bearings (ISO/DIS 20816-4:2017);
Text in German and English

Vibrations mécaniques –
Mesurage et évaluation des vibrations de machines –
Partie 4: Turbines à gaz à paliers à film fluide, excédant 3 MW (ISO/DIS 20816-4:2017);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-01-05 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, Burggrafenstr. 6, 10787 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 55 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Messverfahren	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Messungen von Schwingungen von nicht-rotierenden Teilen.....	10
4.3 Messungen von Schwingungen von rotierenden Wellen	12
5 Bewertungskriterien	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Kriterium I: Schwingungsgröße	14
5.2.1 Allgemeines	14
5.2.2 Schwingungsgröße bei Nenn-Betriebsdrehzahl und stationären Betriebsbedingungen	14
5.2.3 Grenzwerte für den stationären Betrieb.....	17
5.2.4 Schwingungsgröße in transienten Betriebszuständen (Übergangszustände)	18
5.3 Kriterium II: Änderung der Schwingungsgröße unter stationären Betriebsbedingungen bei der Nenn-Betriebsdrehzahl.....	21
5.4 Zusätzliche Verfahren/Kriterien.....	21
5.5 Beurteilung auf der Basis von Informationen über Schwingungsvektoren.....	22
Anhang A (normativ) Grenzen der Bewertungszonen für Schwingungen von nicht-rotierenden Teilen	23
Anhang B (normativ) Grenzen der Bewertungszonen für Schwingungen von rotierenden Wellen	24
Anhang C (informativ) Beispiel für die Festlegung von ALARM- und ABSCHALT-Werten	26
Anhang D (informativ) Warnhinweise zur Verwendung der Beurteilungskriterien auf Basis der Schwinggeschwindigkeit bei niedrigen Drehzahlen	27
Anhang E (informativ) Zonengrenzwerte und Lagerspiel	29
Literaturhinweise	30

Nationales Vorwort

Der internationale Norm-Entwurf ISO/DIS 20816-4:2017 ist 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“, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) geführt wird, erarbeitet worden. Die deutsche Mitarbeit erfolgt durch den Ausschuss NA 001-03-03 AA (NALS/VDI C 3) „Messung und Beurteilung von Maschinenschwingungen“ des DIN/VDI-Normenausschusses 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
Normen der Reihe ISO 7919	siehe	Normen der Reihe DIN ISO 7919
Normen der Reihe ISO 10816	siehe	Normen der Reihe DIN ISO 10816
ISO 10817-1	siehe	DIN ISO 10817-1
Normen der Reihe ISO 13373	siehe	Normen der Reihe DIN ISO 13373
Normen der Reihe ISO 20816	siehe	Normen der Reihe DIN ISO 20816
Normen der Reihe ISO 21940	siehe	Normen der Reihe DIN ISO 21940

Die Deutschen Normen sind in Anhang NA aufgeführt.

ISO 20816 mit dem Titel *Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration* besteht aus folgenden Teilen:

- *Part 1: General guidelines*¹⁾
- *Part 2: Land-based gas turbines, steam turbines and generators in excess of 40 MW, with fluid-film bearings and rated speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min*²⁾
- *Part 4: Gas turbines in excess of 3 MW, with fluid-film bearings*³⁾
- *Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants*⁴⁾

1) Überarbeitung und Zusammenfassung von ISO 7919-1:1996, ISO 10816-1:1995 und ISO 10816-1:1995/Amd.1:2009

2) Überarbeitung und Zusammenfassung von ISO 7919-2:2009 und ISO 10816-2:2009

3) Überarbeitung und Zusammenfassung von ISO 7919-4:2009 und ISO 10816-4:2009

4) Überarbeitung und Zusammenfassung von ISO 7919-5:2005 und ISO 10816-5:2000

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 7919-4:2018-01 und DIN ISO 10816-4:2018-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Überarbeitung und Zusammenfassung von DIN ISO 7919-4:2018-01 und DIN ISO 10816-4:2018-01;
- b) Änderung des Titels, um auch einzelne Gasturbinen und nicht nur Gasturbinensätze zu erfassen.

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 7919-3, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an rotierenden Wellen — Teil 3: Gekuppelte industrielle Maschinen*

DIN ISO 7919-4, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an rotierenden Wellen — Teil 4: Gasturbinensätze mit Gleitlagern*

DIN ISO 10816-3, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 3: Industrielle Maschinen mit einer Nennleistung über 15 kW und Nenndrehzahlen zwischen 120 min^{-1} und $15\,000 \text{ min}^{-1}$ bei Messungen am Aufstellungsort*

DIN ISO 10816-4, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 4: Gasturbinensätze mit Gleitlagern*

DIN ISO 10816-6, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 6: Hubkolbenmaschinen mit einer Leistung über 100 kW*

DIN ISO 10816-7, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 7: Kreiselpumpen für den industriellen Einsatz (einschließlich Messung der Wellenschwingungen)*

DIN ISO 10816-8, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 8: Hubkolbenkompressoren*

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

DIN ISO 13373-1, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 1: Allgemeine Anleitungen*

DIN ISO 13373-2, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 2: Verarbeitung, Analyse und Darstellung von Schwingungsmesswerten*

DIN ISO 13373-3, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 3: Anleitungen zur Schwingungsdiagnose*

DIN ISO 20816-1:2017-03, *Mechanische Schwingungen — Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 20816-1:2016)*

DIN ISO 20816-2, *Mechanische Schwingungen — Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen — Teil 2: Stationäre Gasturbinen, Dampfturbinen und Generatoren über 40 MW mit Gleitlagern und Nenndrehzahlen von 1 500 min⁻¹, 1 800 min⁻¹, 3 000 min⁻¹ und 3 600 min⁻¹*

DIN ISO 20816-5^{*)}, *Mechanische Schwingungen — Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen — Teil 5: Maschinensätze in Wasserkraft- und Pumpspeichieranlagen*

DIN ISO 21940-12, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 12: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit nachgiebigem Verhalten*

DIN ISO 21940-12 Beiblatt 1, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 12: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit nachgiebigem Verhalten — Beiblatt 1: Verfahren zum Auswuchten bei mehreren Drehzahlen*

DIN ISO 21940-13, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 13: Kriterien und Sicherheitshinweise für das Auswuchten von mittleren und großen Rotoren am Aufstellungsort*

^{*)} Z. Z. Entwurf

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 Annahmekriterien 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.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen, sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link 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 20816-4 ersetzt ISO 7919-4:2009, ISO 7919-4/Amd.1:2017, ISO 10816-4:2009 und ISO 10816-4/Amd.1:2017, die zusammengefasst und inhaltlich überarbeitet wurden.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zu den Vorgängerausgaben sind, dass der Anwendungsbereich enger gefasst wurde und diese Norm nun nicht mehr für große Gasturbinen mit einer Leistung über 40 MW, Gleitlagern und Nenn-Betriebsdrehzahlen von 1 500 min⁻¹, 1 800 min⁻¹, 3 000 min⁻¹ oder 3 600 min⁻¹ gilt. Derartige Gasturbinen werden nunmehr in ISO 20816-2 behandelt.

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

Einleitung

Die Normenreihe ISO 20816 wurde und wird mit dem Ziel entwickelt, die Normenreihen ISO 7919 und ISO 10816 zusammenzufassen und zu ersetzen.

ISO 20816-1 ist die Grundnorm der Reihe ISO 20816 und enthält die allgemeinen Anforderungen an die Bewertung der Schwingungen von Maschinen verschiedener Art, wenn Schwingungsmessungen sowohl an nicht-rotierenden Bauteilen als auch an rotierenden Wellen ausgeführt werden. In ISO 20816-2 werden die Messung und die Bewertung der Schwingungen von großen Turbo-Generatoren behandelt.

Das vorliegende Dokument enthält maschinenspezifische Vorgaben zur Beurteilung der Schwingungen der Lagergehäuse oder Lagerständer und der rotierenden Wellen aller Gasturbinen, die nicht von ISO 20816-2 behandelt werden. Messwerte an diesen Stellen charakterisieren den Schwingungszustand in vernünftiger Weise. Es werden Bewertungskriterien angegeben, die auf Erfahrung beruhen. Diese können bei der Beurteilung des Schwingungszustands derartiger Maschinen herangezogen werden. Wenn das Massenverhältnis zwischen den Lagerabstützungen und dem Rotor groß ist, sollte beachtet werden, dass geringere Schwingungswerte an den Lagergehäusen oder Lagerständern zutreffend sein können.

Zur Beurteilung der Maschinenschwingungen unter stationären Betriebsbedingungen werden zwei Kriterien angegeben. Das eine Kriterium betrachtet die Größe der gemessenen Schwingung, das andere Änderungen der Schwingungsgröße. Darüber hinaus werden davon abweichende Kriterien für Übergangszustände genannt.

Die im vorliegenden Dokument angegebenen Bewertungsverfahren 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 werden im vorliegenden Dokument nicht festgelegt. Diese werden in den einschlägigen Teilen von ISO 13373, die Vorgaben zur Schwingungszustandsüberwachung von Maschinen enthalten, detailliert behandelt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gilt für stationäre Gasturbinen mit Gleitlagern und einer Leistung über 3 MW und einer Betriebsdrehzahl unter Last im Bereich von $3\,000\text{ min}^{-1}$ bis $30\,000\text{ min}^{-1}$. In einigen Fällen (siehe die nachstehende Ausschlussliste) umfasst dies andere rotierende Maschinen, die entweder direkt oder über ein Getriebe angeschlossen sind. Die im vorliegenden Dokument enthaltenen Bewertungskriterien dürfen auf die Schwingungen der Haupteingangs- und -ausgangslager des Getriebes angewendet werden, dürfen aber weder zur Bewertung der Schwingungen der internen Getriebelager noch zur Bewertung des Zustands dieser Getriebe herangezogen werden. Für die Bewertung des Zustands von Getrieben sind spezielle Techniken erforderlich, die nicht Gegenstand des vorliegenden Dokuments sind.

Dieses Dokument gilt nicht für:

- i) Gasturbinen mit einer Leistung über 40 MW und Nenn-Betriebsdrehzahlen von $1\,500\text{ min}^{-1}$, $1\,800\text{ min}^{-1}$, $3\,000\text{ min}^{-1}$ oder $3\,600\text{ min}^{-1}$ (siehe ISO 20816-2);
- ii) Flugtriebwerks-Gasturbinen (einschließlich Gasturbinen, deren dynamische Eigenschaften denjenigen von Flugtriebwerks-Gasturbinen ähnlich sind);

ANMERKUNG ISO 3977-3 definiert Flugtriebwerks-Gasturbinen als Strahltriebwerke, die als Antriebsmotor oder zum Antrieb eines Generators oder eines Schiffs modifiziert wurden. Zwischen Hochleistungs-Gasturbinensätzen und Flugtriebwerks-Gasturbinen bestehen große Unterschiede, z.B. in der Steifigkeit des Gehäuses, der Gestaltung der Lager, im Massenverhältnis zwischen Rotor und feststehenden Teilen sowie in den Aufstellungsbauteilen. Daher gelten für diese beiden Turbinenarten unterschiedliche Kriterien.

- iii) Gasturbinen mit einer Leistung bis 3 MW (siehe ISO 7919-3 und ISO 10816-3);
- iv) von Turbinen angetriebene Generatoren (siehe ISO 20816-2, ISO 7919-3 und ISO 10816-3);
- v) von Turbinen angetriebene Pumpen (siehe ISO 10816-7);
- vi) von Turbinen angetriebene rotierende Kompressoren (siehe ISO 7919-3 und ISO 10816-3);
- vii) die Bewertung von Getriebschwingungen (siehe dieser Abschnitt), ohne jedoch die Überwachung von Getriebschwingungen auszuschließen;
- viii) die Bewertung von Verbrennungsschwingungen, ohne jedoch die Überwachung von Verbrennungsschwingungen auszuschließen;
- ix) Schwingungen von Wälzlagern.

Dieses Dokument enthält Vorgaben zur Bewertung der Stärke der folgenden breitbandig vor Ort gemessenen Schwingungen:

- a) radial (d.h. quer) zur Wellenachse gemessene Strukturschwingungen aller Hauptlagergehäuse oder -stände;
- b) Strukturschwingungen der Axial-Traglagergehäuse, gemessen in axialer Richtung;
- c) Schwingungen der rotierenden Wellen, radial (d.h. quer) zur Wellenachse in oder neben den Hauptlagern gemessen.

Diese beziehen sich auf die folgenden Schwingungen:

- Schwingungen unter den üblichen stationären Betriebsbedingungen;
- Schwingungen unter anderen (nicht-stationären) Bedingungen, also in Übergangszuständen, wie Hochlauf, Auslauf, Belasten und Laständerung;
- Schwingungsänderungen, die sich im üblichen stationären Betrieb ergeben können.

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 20816-1:2016, *Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 1: General guidelines*

3 Begriffe

Es werden keine Begriffe in diesem Dokument angegeben.

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

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

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

4 Messverfahren

4.1 Allgemeines

Die Messverfahren und die Messeinrichtung müssen mit den allgemeinen Anforderungen von ISO 20816-1 übereinstimmen.

ISO 20816-1 und das vorliegende Dokument gelten für Schwingungen von nicht-rotierenden Teilen und von rotierenden Wellen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass an einer bestimmten Maschine beide Messgrößen erfasst werden müssen. Die Wahl, ob Schwingungen nicht-rotierender Teile, rotierender Wellen oder einer Kombination aus diesen gemessen werden, hängt von der jeweiligen Anwendung ab und muss stets zwischen dem Maschinenhersteller bzw. -lieferanten und dem Käufer vor der Aufstellung der Maschine vereinbart werden. Als allgemeine Leitlinie sollte beachtet werden, dass die Schwingungen von Lagerdeckeln bei großen Rotormassen und flexiblen Ständern problematischer sind, während relative Schwingungen von Wellen im Falle großer und starrer Ständer bei leichten und flexiblen Rotoren problematischer sind.

Es sollte bekannt sein, wie das Messsystem auf äußere Einflüsse wie die folgenden reagiert. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Messeinrichtung nicht in unzulässiger Weise von äußeren Einwirkungen beeinflusst wird, einschließlich

- a) Temperaturschwankungen;
- b) elektromagnetischer Felder;
- c) Luft- und Körperschall, z.B. Schwingungen durch Zahneingriff in Getrieben oder Verbrennungsschwingungen oder durch benachbarte Maschinen verursacht;
- d) Schwankungen der Speisespannung des Schwingungsaufnehmers;
- e) Impedanz der Leitungen;
- f) Länge der Aufnehmerleitungen;
- g) Ausrichtung der Schwingungsaufnehmer;
- h) struktureller Eigenschaften der Aufnehmerankopplung.

In besonderen Fällen, wenn signifikante tieffrequente Schwingungen auf die Maschine übertragen werden können, wie z.B. in Erdbebengebieten, kann es erforderlich sein, im tieffrequenten Bereich des Frequenzgangs der Messeinrichtung Filter zu verwenden.

Wenn Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten oder von verschiedenen Maschinen verglichen werden, sollte darauf geachtet werden, sicherzustellen, dass derselbe Frequenzbereich verwendet wird und die Daten gewonnen werden, wenn die Maschine unter stabilen Bedingungen und mit derselben Betriebsdrehzahl und Betriebslast läuft.

4.2 Messungen von Schwingungen von nicht-rotierenden Teilen

Für die Schwingungsüberwachung muss die Messeinrichtung in der Lage sein, breitbandige Schwingungen zu messen, und zwar in einem Frequenzbereich von 10 Hz bis mindestens dem Dreifachen der höchsten Nenn-Betriebsfrequenz oder 500 Hz, je nachdem, welches der höhere Wert ist. Wenn die Messeinrichtung jedoch auch für die Schwingungsdiagnose eingesetzt wird, können ein größerer Frequenzbereich und/oder eine Spektralanalyse notwendig sein. Wenn z.B. die Frequenz, die der ersten Resonanzdrehzahl (kritische Drehzahl) der gekoppelten Rotoren entspricht, unter 10 Hz liegt, muss die untere Grenze des linearen Arbeitsfrequenzbereichs der Messeinrichtung zu noch tieferen Frequenzen verschoben werden.

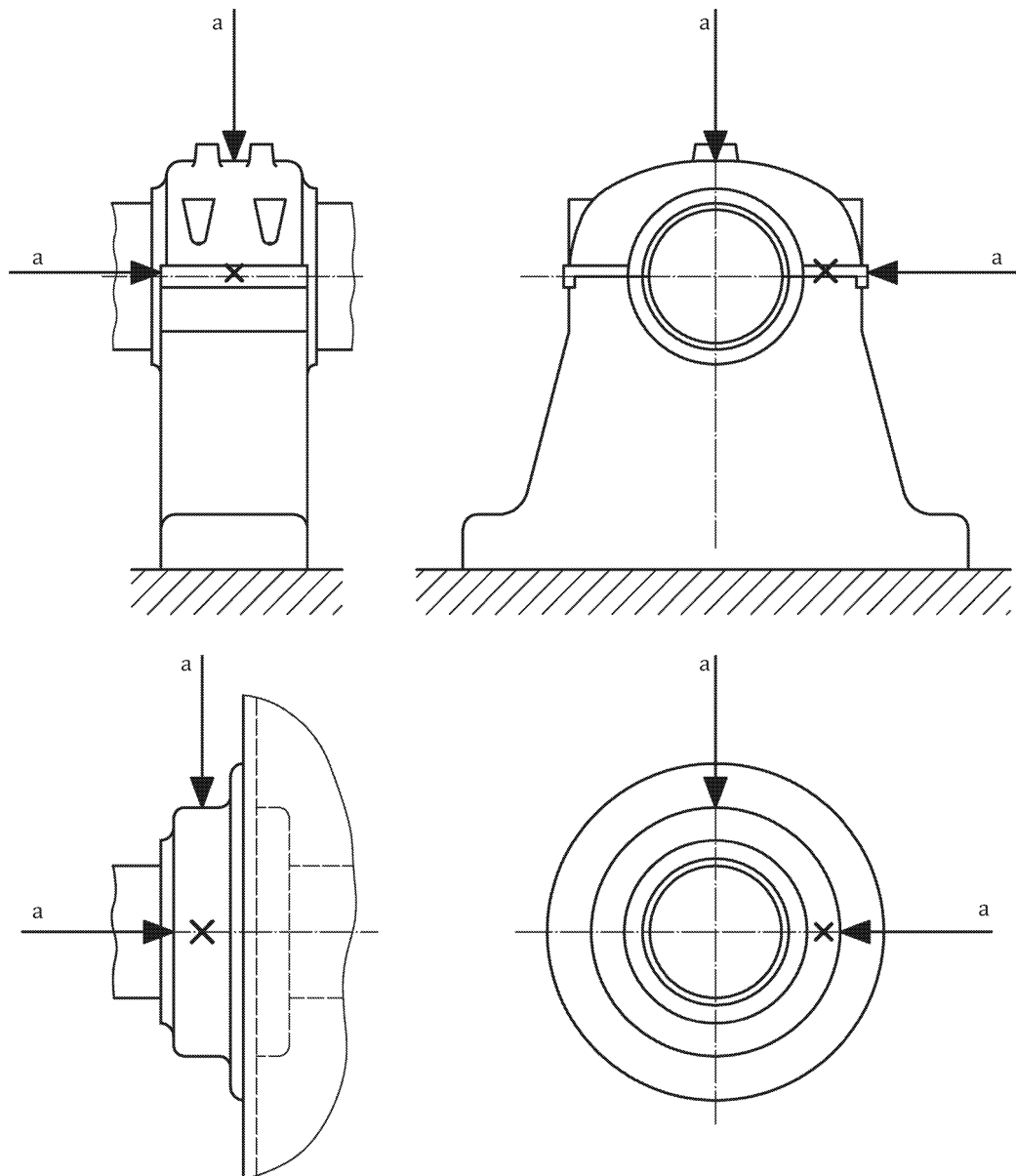
Wenn die Messung mit einem Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer erfolgt und Messungen unterhalb von 10 Hz erforderlich sind, ist es wichtig, das Schwinggeschwindigkeitssignal zu linearisieren. Dies ist vor allem bei der Bewertung der Schwinggeschwindigkeit bei niedrigeren Drehzahlen wichtig (siehe ISO 2954).

Die Orte der Schwingungsmessung sollten so gewählt werden, dass sie die dynamischen Kräfte der Maschine mit ausreichender Empfindlichkeit widerspiegeln. Im Allgemeinen ist es erforderlich, mit einem Paar von rechtwinklig angeordneten Aufnehmern in zwei radialen Richtungen an jedem Hauptlagerdeckel oder -ständer zu messen, wie in Bild 1 und Bild 2 gezeigt. Die Aufnehmer dürfen im Prinzip in beliebigen Winkeln an den Lagergehäusen oder Lagerständern angeordnet werden, es wird aber üblicherweise bevorzugt, sie vertikal und horizontal (d.h. in den Hauptsteifigkeitsrichtungen) anzuordnen.

Es darf an einem Lagerdeckel oder Lagerständer ein einzelner Radialaufnehmer anstelle des üblicherweise verwendeten Paares von rechtwinklig angeordneten Aufnehmern eingesetzt werden, wenn dieser hinreichende Informationen über die Größe der Maschinenschwingungen liefert. Im Allgemeinen sollte aber Vorsicht walten, wenn die von einem einzelnen Schwingungsaufnehmer in einer Messebene erfassten Schwingungen bewertet werden, da dieser so ausgerichtet sein kann, dass er keinen vernünftigen Näherungswert für den Maximalwert in dieser Ebene liefert.

Es ist nicht üblich, zum Zwecke der kontinuierlichen Betriebsüberwachung an den Haupttraglagern Axialschwingungen zu messen. Messungen in axialer Richtung werden vorwiegend bei der periodischen Überwachung oder zu Diagnosezwecken ausgeführt. Daher werden im vorliegenden Dokument Beurteilungskriterien für Axialschwingungen nur für solche Axial-Traglager angegeben, an denen die Schwingstärke nach denselben Kriterien wie für die Radialschwingungen beurteilt werden kann (siehe Tabelle A.1). Bei Loslagern, an denen die Axialbewegung nicht behindert wird, dürfen weniger strenge Anforderungen an die Bewertung von Axialschwingungen gestellt werden, sofern angeschlossene Rohre und Hilfseinrichtungen davon nicht nachteilig beeinflusst werden.

Mit besonderer Sorgfalt sollte sichergestellt werden, dass die Schwingungsaufnehmer korrekt angekoppelt sind und die Art der Ankopplung die Messunsicherheit nicht erhöht (siehe z.B. ISO 2954 und ISO 5348).

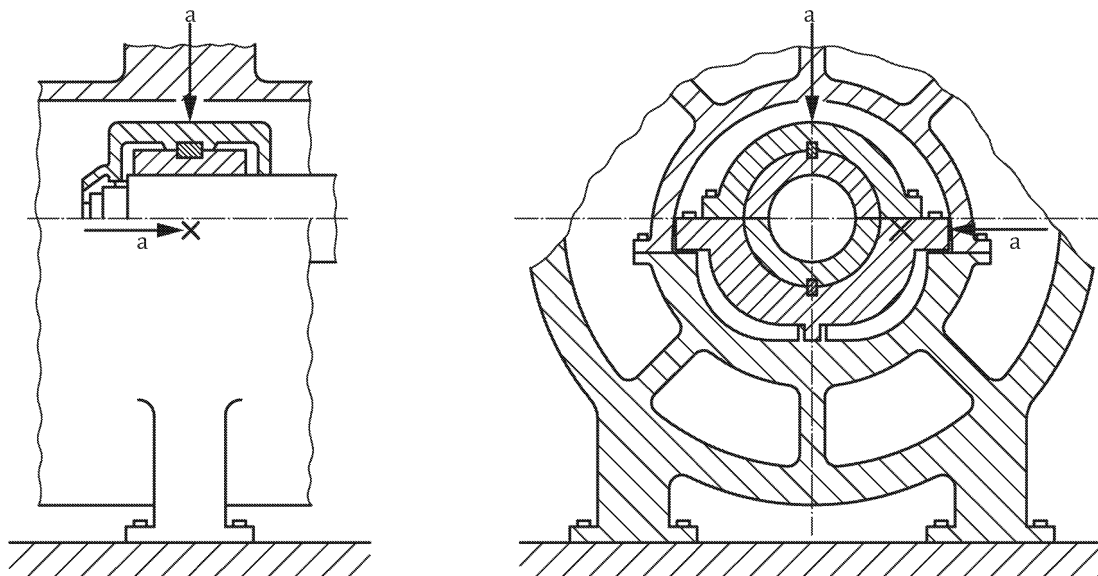


Legende

^a Messrichtung

ANMERKUNG Die im vorliegenden Dokument angegebenen Beurteilungskriterien gelten für Radialschwingungen an allen Hauptlagern und für Axialschwingungen an Axial-Traglagern.

Bild 1 — Typische Messpunkte und Messrichtungen an Lagerständen und Lagerdeckeln



Legende

^a Messrichtung

ANMERKUNG Die im vorliegenden Dokument angegebenen Beurteilungskriterien gelten für Radialschwingungen an allen Hauptlagern und für Axialschwingungen an Axial-Traglagern.

Bild 2 — Typische Messpunkte und Messrichtungen am Lager einer Gasturbine

4.3 Messungen von Schwingungen von rotierenden Wellen

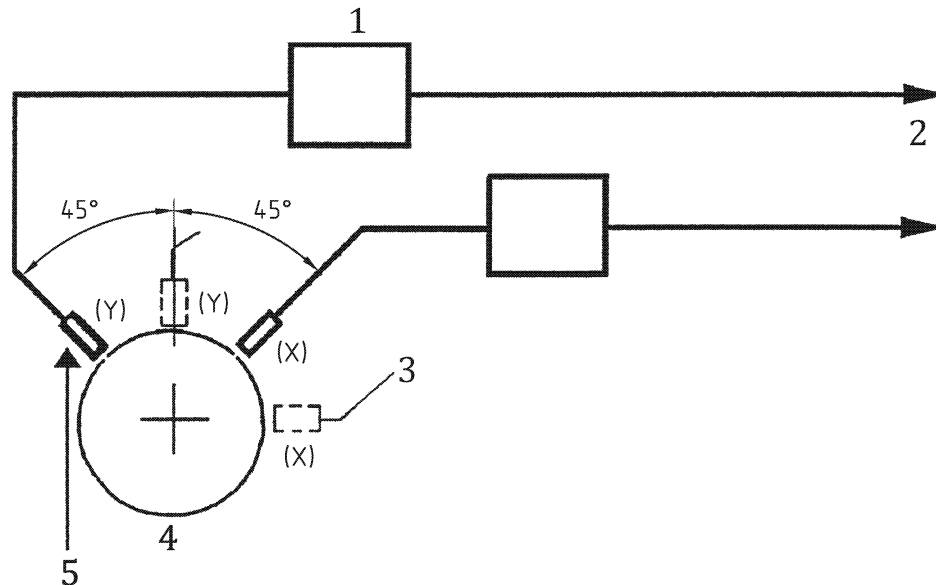
Bei der Messung der Wellenschwingungen von Gasturbinen sind die relativen Wellenschwingungen (d.h. die Schwingungen der rotierenden Welle in Relation zu den Aufstellungsbauteilen) die bevorzugte Messgröße.

Für die Schwingungsüberwachung muss die Messeinrichtung in der Lage sein, breitbandige Schwingungen zu messen, und zwar in einem Frequenzbereich von 1 Hz bis mindestens dem Dreifachen der höchsten Nenn-Betriebsfrequenz oder 500 Hz, je nachdem, welches der höhere Wert ist. Wenn die Messeinrichtung jedoch auch für die Schwingungsdiagnose eingesetzt wird, können ein größerer Frequenzbereich (z.B. bis zum 6-Fachen der maximalen üblichen Umdrehungsfrequenz) und/oder eine Spektralanalyse notwendig sein.

Die Orte der Schwingungsmessung sollten so gewählt werden, dass die radialen Schwingungen der Welle an den wichtigen Stellen erfasst werden können. Im Allgemeinen ist es erforderlich, mit einem Paar von rechtwinklig angeordneten Aufnehmern in zwei radialen Richtungen an oder neben jedem Hauptlager zu messen. Die Aufnehmer dürfen in beliebigen Winkeln angeordnet werden, es ist aber üblich, sie an ein und derselben Lagerhälfte entweder $\pm 45^\circ$ zur Vertikalen (12-Uhr-Stellung) oder möglichst vertikal und horizontal anzuordnen (siehe Bild 3).

Es darf ein einzelner Radialaufnehmer anstelle des üblicherweise verwendeten Paares von rechtwinklig angeordneten Aufnehmern eingesetzt werden, wenn dieser hinreichende Informationen über die Größe der Wellenschwingungen liefert. Im Allgemeinen sollte jedoch Vorsicht walten, wenn die von einem einzelnen Schwingungsaufnehmer in einer Messebene erfassten Schwingungen bewertet werden, da dieser so ausgerichtet sein kann, dass er keinen vernünftigen Näherungswert für den Maximalwert in dieser Ebene liefert.

Bei Gasturbinen ist es nicht üblich, axiale Wellenschwingungen zu messen. Werden Messungen der axialen Lage mittels berührungsloser Schwingungsaufnehmer durchgeführt und gehören diese zum Schwingungsüberwachungssystem, so ist die Beurteilung des Signals nicht durch das vorliegende Dokument abgedeckt.



Legende

- 1 Signalanpassungseinheiten
- 2 zur Signalverarbeitung
- 3 optionale Ausrichtung der Schwingungsaufnehmer
- 4 Welle
- 5 berührungslose Schwingungsaufnehmer

Bild 3 — Schematische Darstellung der Messung relativer Wellenbewegungen mittels berührungslos arbeitender Schwingungsaufnehmer

Mit besonderer Sorgfalt muss sichergestellt werden, dass die Schwingungsaufnehmer vorschriftsmäßig befestigt sind und die Art der Befestigung die Messunsicherheit nicht erhöht (siehe z. B. ISO 10817-1).

Soweit dies möglich ist, muss die Wellenoberfläche im Bereich der Wellenschwingungsaufnehmer glatt und frei von geometrischer Diskontinuität, metallurgischer Inhomogenität und örtlichem Restmagnetismus sein, was alles die Messsignale verfälschen kann (sogenannte elektrische Laufabweichung oder Runout). Die kombinierte elektrische und mechanische Laufabweichung bei niedriger Drehzahl, wie sie vom Aufnehmer gemessen wird, sollte bei der Nenn-Betriebsdrehzahl 25 % des Zonengrenzwerts A/B nicht überschreiten (siehe Bild B.1).

Bevor Gasturbinen auf Nenn-Betriebsdrehzahl gebracht werden, darf der Wellenausschlag bei niedriger Drehzahl gemessen werden. Dabei muss die Messfähigkeit des Messsystems im tieffrequenten Bereich ausreichend sein. Solche Messungen geben aber im Allgemeinen keine zuverlässige Auskunft über die Laufabweichung der Welle im üblichen Betriebszustand, weil sie z. B. von zeitweiligen Verbiegungen der Welle, unregelmäßigen Bewegungen des Wellenzapfens 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, weil sich sonst eine falsche Deutung der Maschinenschwingungen ergeben könnte (siehe ISO 20816-1).

5 Bewertungskriterien

5.1 Allgemeines

ISO 20816-1 enthält eine allgemeine Beschreibung der beiden Bewertungskriterien, die zur Beurteilung der Schwingstärke von Maschinen verschiedener Art verwendet werden.

- a) Das eine Kriterium betrachtet die Größe der breitbandig gemessenen Schwingung;
- b) das andere Kriterium betrachtet Änderungen der Schwingungsgröße, unabhängig davon, ob es sich um eine Zu- oder Abnahme handelt.

Die angegebenen Werte basieren auf Erfahrung mit Maschinen dieser Art; wenn sie beachtet werden, kann ein zufriedenstellender Betrieb erwartet werden.

ANMERKUNG Die angegebenen Werte beruhen auf früheren Internationalen Normen, auf den Ergebnissen einer bei der ersten Erstellung der Vorgängernormen (siehe Vorwort) durchgeführten Umfrage sowie auf den Rückmeldungen von Anwendern.

Die angegebenen Werte gelten für stationäre Betriebsbedingungen bei der oder den Nenn-Betriebsdrehzahlen und Lastbereiche, einschließlich der üblichen langsamen Änderungen der Leistungsabgabe. Darüber hinaus werden davon abweichende Werte für nicht-stationäre Betriebszustände genannt, d.h. für vorübergehende, transiente Vorgänge. Die angegebenen Schwingungswerte stellen Zielwerte dar; sie sind ein Mittel zur Sicherstellung, dass grobe Fehler oder unrealistische Anforderungen vermieden werden. Insbesondere liegt die Grundvoraussetzung für einen sicheren Betrieb darin, dass kein Kontakt des Metalls der rotierenden Welle mit Metall feststehender Bauteile auftritt. Die angegebenen Werte dienen lediglich als Grundlage für die Festlegung von Abnahmekriterien (siehe 5.2.2.3).

Die Bewertungskriterien gelten nur für diejenigen Schwingungen, die von der Gasturbine selbst erzeugt werden, und nicht für Schwingungen, die aus der Umgebung auf die Maschine übertragen werden. Wenn der Verdacht besteht, dass (stationäre oder temporäre) externe Schwingungen einen signifikanten Einfluss haben, sollten die Messungen bei abgeschalteter Maschine durchgeführt werden. Wenn die Größe der von außen übertragenen Schwingungen inakzeptabel ist, sollten Schritte unternommen werden, dieses Problem zu lösen.

5.2 Kriterium I: Schwingungsgröße

5.2.1 Allgemeines

Dieses Kriterium betrifft die Festlegung von Werten für die Größe der Schwingungen im Hinblick auf zulässige dynamische Lagerbelastungen, annehmbare Werte für das Spiel gegenüber dem Maschinengehäuse und die Schwingungsübertragung in die Aufstellungsbauteile und das Fundament.

5.2.2 Schwingungsgröße bei Nenn-Betriebsdrehzahl und stationären Betriebsbedingungen

5.2.2.1 Allgemeines

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

5.2.2.2 Bewertungszonen

Die Bewertungszonen werden festgelegt, um eine Beurteilung der Schwingungen einer Maschine bei Nenn-Betriebsdrehzahl unter üblichen stationären Betriebsbedingungen zu ermöglichen und Hinweise auf eventuell notwendige Maßnahmen zu geben.

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

ANMERKUNG 1 Der zur Erzeugung von Schwingungen in Zone A erforderliche Aufwand kann jedoch 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.

ANMERKUNG 2 Zu Übergangszuständen siehe 5.2.4.

5.2.2.3 Abnahmekriterien

Die Abnahmekriterien sollten stets zwischen dem Lieferanten der Maschine und dem Käufer 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, Druck) ausgeführt 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.

5.2.2.4 Grenzen der Bewertungszonen

Die Zonengrenzwerte sind in den Anhängen A und B angegeben. Anhang A ist auf radiale Schwingungen von nicht-rotierenden Teilen an allen Lagern und auf axiale Schwingungen von Axial-Traglagergehäusen anzuwenden. Anhang B ist auf relative Wellenschwingungen anzuwenden.

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 Maschinenherstellern und Betreibern zur Verfügung gestellt wurden. Eine erhebliche Streuung der Daten war nicht zu vermeiden, trotzdem sind die angegebenen Werte ein Mittel zur Sicherstellung, dass grobe Fehler oder unrealistische Anforderungen vermieden werden.

An anderen Messorten und in Übergangszuständen sind höhere Schwingungswerte zulässig (siehe 5.2.4).

In den meisten Fällen stellen die in den Anhängen A und B angegebenen 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 jedoch speziellen Eigenschaften einer bestimmten Maschinenart oder die damit gesammelten Erfahrungen erfordern, andere Werte (höhere oder niedrigere) für die Zonengrenzen zu verwenden. Beispiele sind die nachstehenden Punkte a) bis e).

- a) Die Maschinenschwingungen können von der Art des Maschinenbetts beeinflusst werden. So können z.B. stärkere relative Wellenschwingungen erwartet werden, wenn die Lagerabstützung steif ist. Umgekehrt können bei einer nachgiebigen Lagerabstützung geringere relative Wellenschwingungen erwartet werden. Es ist dann gegebenenfalls annehmbar, andere Zonengrenzwerte zu verwenden, wenn dies durch bisherigen zufriedenstellenden Betrieb begründet werden kann.
- b) Niedrigere Schwingungen an nicht-rotierenden Teilen können auftreten, wenn eine starke Diskrepanz (z.B. 10 : 1) zwischen der Masse der Lagerstruktur (z.B. Masse des Lagerständers und Masse des Gehäuses) und der Masse des Rotors besteht. Es ist in diesen Fällen gegebenenfalls zulässig, andere Zonengrenzwerte zu verwenden, wenn dies durch bisherigen zufriedenstellenden Betrieb begründet werden kann.
- c) Die relativen Wellenschwingungen sind ein Indikator für die Bewegung des Lagerzapfens; es sollte im Besonderen sichergestellt werden, dass sie das Lagerspiel nicht überschreiten. Weiterhin sollte beachtet werden, dass die zulässigen Schwingungen vom Durchmesser des Lagerzapfens abhängen können, da das Lagerspiel im Betrieb bei größeren Lagerdurchmessern im Allgemeinen ebenfalls größer ist. Bei Verwendung von Lagern mit geringem Lagerspiel dürfen die in Anhang B angegebenen Zonengrenzwerte herabgesetzt werden. Das Maß, bis zu dem die Zonengrenzwerte herabzusetzen sind, ist von dem verwendeten Lagertyp (z.B. rundes Lager, elliptisches Lager, Kippsegmentlager usw.) und der Beziehung zwischen der Messrichtung und dem kleinsten Lagerspiel abhängig. Daher ist es nicht möglich, konkrete Empfehlungen auszusprechen; in Anhang E ist jedoch ein repräsentatives Beispiel für ein zylindrisches Gleitlager angegeben.
- d) Andere, auf der tatsächlichen Konstruktion der Maschine basierende Kriterien dürfen bei relativ leicht belasteten Lagern oder anderen nachgiebigeren Lagern angewendet werden, deren statische Last sehr empfindlich gegenüber der Ausrichtung des Rotors ist.
- e) Wenn die Wellenschwingungen nicht direkt am oder neben einem Lager gemessen werden, können andere Kriterien gelten.

ANMERKUNG 1 Das vorliegende Dokument gibt für Maschinen mit starrem oder mit nachgiebigem Unterbau keine unterschiedlichen Zonengrenzwerte an. Es ist jedoch möglich, dass dieses Dokument in Zukunft überarbeitet wird und dann unterschiedliche Werte in Abhängigkeit von der Nachgiebigkeit des Unterbaus angibt, falls die weitere Analyse der Daten dieser Maschinen dies als berechtigt erscheinen lässt.

Für die Messungen an verschiedenen Messpunkten ein und desselben Rotorstrangs können unterschiedliche Werte gelten.

Allgemein gilt, dass es bei Verwendung höherer Zonengrenzwerte notwendig sein kann, eine technische Begründung zu geben, um zu bestätigen, dass die Zuverlässigkeit der Maschine durch den Betrieb mit höheren Schwingungswerten nicht eingeschränkt ist. Das kann sich z.B. auf spezielle Merkmale der Maschine oder auf die Erfahrung stützen, dass der Betrieb von Maschinen mit ähnlicher Konstruktion und Aufstellung zufriedenstellend verläuft.

Die übliche Messgröße zur Beurteilung der Schwingstärke an nicht-rotierenden Teilen ist die Schwinggeschwindigkeit. Die in Anhang A genannten Zonengrenzwerte basieren auf der breitbandigen Messung des Effektivwerts der Schwinggeschwindigkeit. Gelegentlich war es jedoch üblich, die Schwingungen mit Geräten zu messen, die den Scheitelwert (Betragsmaximalwert) und nicht den Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit anzeigen. Wenn die Schwingungen im Wesentlichen nur eine einzige Frequenzkomponente enthalten (bei Gasturbinen z.B. verlaufen die Schwingungen vorwiegend mit der Betriebsfrequenz der Maschine), besteht eine einfache Beziehung zwischen dem Scheitelwert und dem Effektivwert. In solchen Fällen können die Zonengrenzwerte in Anhang A einfach durch Multiplikation mit $\sqrt{2}$ in Scheitelwerte umgerechnet werden. Alternativ kann der gemessene Schwingungsspitzenwert durch $\sqrt{2}$ geteilt und mit dem Effektivwert aus Anhang A verglichen werden. Diese Herangehensweise kann bei komplexen Wellenformen mit mehr als einer maßgebenden Frequenzkomponente nicht angewendet werden.

ANMERKUNG 2 Es gibt keinen allgemeinen Faktor zur Verknüpfung des wahren Spitzenwertes mit dem Effektivwert.

5.2.3 Grenzwerte für den stationären Betrieb

5.2.3.1 Allgemeines

Es ist gängige Praxis, für den stationären Dauerbetrieb bei Nenn-Betriebsdrehzahl Schwingungsgrenzwerte festzulegen. Diese Grenzwerte werden als ALARM und ABSCHALTUNG bezeichnet.

ALARM: Ausgabe einer Warnung, dass ein festgelegter Schwingungsgrenzwert erreicht oder eine deutliche Änderung eingetreten ist und Abhilfemaßnahmen notwendig werden können. Wenn eine ALARM-Situation eintritt, kann der Betrieb im Allgemeinen fortgesetzt werden, während Untersuchungen durchgeführt werden, um die Gründe für die Änderung des Schwingungszustands zu ermitteln (z.B. Untersuchung der Auswirkung der Belastung, der Drehzahl oder anderer Betriebsparameter) und um festzulegen, wann Abhilfemaßnahmen erforderlich sein können.

ABSCHALTUNG: Festlegung des Schwingungswerts, oberhalb dessen ein Weiterbetrieb der Maschine Schäden verursachen kann. Wenn die ABSCHALT-Grenze überschritten wird, sollten sofort Maßnahmen zur Minderung der Schwingungen ergriffen werden.

Wegen Unterschieden in der dynamischen Belastung und der Steifigkeit des Unterbaus dürfen an den einzelnen Messorten und in den einzelnen Messrichtungen unterschiedliche Grenzwerte für den Betrieb festgelegt werden.

5.2.3.2 Festlegung der ALARM-Grenze

Die ALARM-Grenzen können bei den einzelnen Maschinen verschieden hoch liegen. Es wird allgemein empfohlen, die gewählten Werte auf Basiswerte zu beziehen, die sich aus der Erfahrung für die Messorte und Messrichtungen der jeweiligen Maschine ergeben.

Es wird empfohlen, die ALARM-Grenze um den Betrag von 25 % des Zonengrenzwerts B/C über den Basiswert zu legen. Die ALARM-Grenze sollte in der Regel das 1,25-Fache des Zonengrenzwerts B/C nicht überschreiten. Wenn der Basiswert niedrig ist (d.h. wenn er kleiner als 75 % des Zonengrenzwerts B/C ist), kann die ALARM-Grenze unterhalb der Zonengrenze B/C liegen (siehe das Beispiel in Anhang C).

Wenn noch kein Basiswert vorliegt, wie z.B. bei einer neuen Maschine, sollte ein erster Wert für die ALARM-Grenze entweder auf der Erfahrung mit anderen, ähnlichen Maschinen oder auf vereinbarten Abnahmewerten basieren. Wenn keine solchen Daten zur Verfügung stehen, sollte die ALARM-Grenze für stationären Betrieb bei Nenn-Betriebsdrehzahl die Zonengrenze B/C nicht überschreiten. Nach einiger Zeit werden stationäre Basiswerte ermittelt worden sein; die ALARM-Einstellung sollte dann entsprechend angepasst werden.

Wie in 5.2.2.4 erläutert, können bei Einheiten mit kleinen Lagern und/oder Dichtungsabständen (siehe Anhang E) geeignete Anpassungen der ALARM-Grenze der Wellenschwingungen erforderlich sein.

Wenn die Schwingungssignale fluktuierend und auch nicht repetitiv sind, sind Verfahren zur Signalmittelung erforderlich. Eine ausführlichere Untersuchung der Ursache für ein derartiges Verhalten wird dringend empfohlen.

Wenn sich der stationäre Basiswert ändert (z.B. nachdem die Maschine überholt wurde), sollte die ALARM-Grenze entsprechend angepasst werden. An den verschiedenen Messorten an der Maschine können dann unterschiedliche ALARM-Grenzen bestehen, die z.B. den Unterschieden in der dynamischen Belastung und der Steifigkeit der Lagerabstützung Rechnung tragen.

Ein Beispiel für die Festlegung von ALARM-Grenzen ist in Anhang C angegeben.