

## DIN ISO 13373-4



ICS 17.160

Einsprüche bis 2020-07-01

**Entwurf**

**Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen –  
Schwingungs-Zustandsüberwachung –  
Teil 4: Verfahren zur Diagnostik an Gas- und Dampfturbinen mit  
Gleitlagern (ISO/DIS 13373-4:2020);  
Text Deutsch und Englisch**

Condition monitoring and diagnostics of machines –  
Vibration condition monitoring –  
Part 4: Diagnostic techniques for gas and steam turbines with fluid-film bearings  
(ISO/DIS 13373-4:2020);  
Text in German and English

Surveillance et diagnostic d'état des machines –  
Surveillance des vibrations –  
Partie 4: Techniques de diagnostic pour turbines à gaz et turbines à vapeur à paliers à film  
fluide (ISO/DIS 13373-4:2020);  
Texte en allemand et anglais

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-05-01 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](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nals@din.de](mailto:nals@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10772 Berlin oder 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 63 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 . . . . .                                                                                                     | 9     |
| 2 Normative Verweisungen . . . . .                                                                                                | 9     |
| 3 Begriffe . . . . .                                                                                                              | 9     |
| 4 Messungen . . . . .                                                                                                             | 9     |
| 4.1 Schwingungsmessungen . . . . .                                                                                                | 9     |
| 4.2 Messung der Betriebsparameter der Maschine . . . . .                                                                          | 10    |
| 5 Erstanalyse . . . . .                                                                                                           | 10    |
| 6 Spezifische Analyse von Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern . . . . .                                                        | 10    |
| 7 Bei Handlungsempfehlungen zu berücksichtigende Aspekte . . . . .                                                                | 10    |
| Anhang A (normativ) Fehlertabelle für die Schwingungsanalyse von Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern . . . . .                 | 12    |
| Anhang B (informativ) Methodik zur Untersuchung von Schwingungsproblemen in Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern . . . . .      | 21    |
| Anhang C (informativ) Methodik zur Untersuchung von Schwingungsproblemen in Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern . . . . .      | 27    |
| Anhang D (informativ) Schwingungsdiagnostik der Stabilitätsabnahme von flexiblen Lagerständern in Dampfturbinen an Land . . . . . | 30    |
| D.1 Allgemeines . . . . .                                                                                                         | 30    |
| D.2 Beschreibung der Rotorbiegemoden . . . . .                                                                                    | 31    |
| D.3 Prüfung des Lagerständers . . . . .                                                                                           | 32    |
| D.4 Evaluierungsleitfaden . . . . .                                                                                               | 34    |
| D.4.1 Allgemeines . . . . .                                                                                                       | 34    |
| D.4.2 Primäre Bewertung . . . . .                                                                                                 | 34    |
| D.4.3 Sekundäre Bewertung . . . . .                                                                                               | 35    |
| Literaturhinweise . . . . .                                                                                                       | 36    |

## **Bilder**

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild B.1 — Diagnoseflussdiagramm für Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern . . . . .                                                      | 23 |
| Bild B.2 — Diagnoseflussdiagramm für Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern für 1×-Schwingungen . . . . .                                  | 24 |
| Bild B.3 — Diagnoseflussdiagramm für Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern für subsynchrone Schwingungen . . . . .                        | 25 |
| Bild B.4 — Diagnoseflussdiagramm für Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern für 1×-Schwingungen plus Harmonischen . . . . .                | 26 |
| Bild C.1 — Konfiguration der Dampfturbine . . . . .                                                                                        | 27 |
| Bild C.2 — Spektren des antriebsseitigen Lagers . . . . .                                                                                  | 28 |
| Bild C.3 — Rotordynamisches Modell . . . . .                                                                                               | 28 |
| Bild C.4 — Konische Eigenform bei $2\,800\,\text{min}^{-1}$ . . . . .                                                                      | 29 |
| Bild D.1 — Zwei verschiedene ND-Lagerstände-Trägersysteme . . . . .                                                                        | 30 |
| Bild D.2 — Verschiebung der Frequenz der s-förmigen Schwingung des Rotors durch die Abnahme der Steifigkeit des ND-Lagerständers . . . . . | 31 |
| Bild D.3 — Zwei Grundmoden des Rotors . . . . .                                                                                            | 32 |
| Bild D.4 — An einem stabilen ND-Lagerstützkörper montierter elektrischer Shaker . . . . .                                                  | 33 |

|                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Bild D.5 — Typische Ergebnisse für Schwingungen (Phase und Amplitude) und Steifigkeit über der Frequenz . . . . .</b> | <b>34</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

## **Tabellen**

|                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabelle A.1 — Fehlertabelle für die Schwingungsanalyse von Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern . . . . .</b> | <b>13</b> |
| <b>Tabelle A.2 — Sichtbare Anzeichen für typische Fehler . . . . .</b>                                             | <b>19</b> |

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring*, erarbeitet, dessen Sekretariat von ANSI (Vereinigte Staaten von Amerika) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-03-05 AA „Schwingungs- und Zustandsüberwachung von Maschinen“ 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 7919 (all parts) | siehe | DIN ISO 7919 (alle Teile) |
| ISO 10817-1          | siehe | DIN ISO 10817-1           |
| ISO 13373-1          | siehe | DIN ISO 13373-1           |
| ISO 13373-2          | siehe | DIN ISO 13373-2           |
| ISO 13373-3:2015     | siehe | DIN ISO 13373-3:2015-12   |
| ISO 13379-1          | siehe | DIN ISO 13379-1           |
| ISO 17359            | siehe | DIN ISO 17359             |
| ISO 20816-1          | siehe | DIN ISO 20816-1           |
| ISO 20816-2          | siehe | DIN ISO 20816-2           |
| ISO 20816-4          | siehe | DIN ISO 20816-4           |
| ISO 21940-2          | siehe | DIN ISO 21940-2           |
| ISO/TR 19201         | siehe | DIN ISO 10816 Beiblatt 1  |

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

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

DIN ISO 7919 (alle Teile), *Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen*

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 13373-3:2015-12, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung — Teil 3: Anleitungen zur Schwingungsdiagnose (ISO 13373-3:2015)*

DIN ISO 13379-1, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Verfahren zur Dateninterpretation und Diagnostik — Teil 1: Allgemeine Anleitungen*

DIN ISO 17359, *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Allgemeine Anleitungen*

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

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<sup>-1</sup>, 1 800 min<sup>-1</sup>, 3 000 min<sup>-1</sup> und 3 600 min<sup>-1</sup>*

DIN ISO 20816-4, *Mechanische Schwingungen — Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen — Teil 4: Gasturbinen über 3 MW mit Gleitlagern*

DIN ISO 21940-2, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 2: Begriffe*

DIN ISO 10816 Beiblatt 1, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Beiblatt 1: Methodisches Vorgehen bei der Auswahl von Normen zu Maschinenschwingungen einschließlich der Wellenschwingungen*

## 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](http://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](http://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](http://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.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 13373 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](http://www.iso.org/members.html) zu finden.

## Einleitung

Dieses Dokument enthält Leitlinien für die zu berücksichtigenden Verfahren bei der Schwingungsdiagnostik an Gas- und Dampfturbinen auf Gleitlagern. Es ist für Anwender der Schwingungstechnik, Ingenieure und Techniker vorgesehen und stellt nützliche Diagnostikwerkzeuge bereit. Diese Werkzeuge umfassen diagnostische Flussdiagramme, Prozesstabellen und Fehlertabellen. Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen stellen die grundlegenden, logischen und vernünftigen Schritte dar, die unternommen werden sollten, wenn Schwingungsprobleme an diesen bestimmten Maschinentypen diagnostiziert werden.

Die Normenreihe ISO 20816 enthält zulässige Schwingungsbeträge und -bereiche für verschiedene Typen und Größen von Maschinen, von neuen Maschinen und Maschinen mit gutem Laufverhalten bis hin zu ausfallgefährdeten Maschinen.

ISO 13373-1 enthält die grundlegenden Verfahren für die Analyse von Schmalband-Schwingungssignalen und umfasst die Arten der verwendeten Aufnehmer, ihre Bereiche und empfohlenen Anordnungen an verschiedenen Maschinentypen, Online-Schwingungsüberwachungssysteme und periodische Schwingungsüberwachungssysteme sowie potenzielle Maschinenprobleme.

ISO 13373-2 umfasst Beschreibungen der erforderlichen Signal-Anpassungseinheiten, Techniken für den Zeitbereich und den Frequenzbereich sowie Wellenformen und Signaturen zur Charakterisierung der üblichsten Betriebserscheinungen oder Maschinenfehler, die bei der Durchführung einer Analyse von Schwingungssignaturen festgestellt werden.

ISO 13373-3 enthält einige Verfahren zur Bestimmung der Ursachen von Schwingungsproblemen, die an allen Arten von rotierenden Maschinen auftreten. Das Dokument umfasst systematische Vorgehensweisen zur Beschreibung der Schwingungswirkungen, die verfügbaren Diagnostikwerkzeuge, welche Werkzeuge für bestimmte Anwendungen erforderlich sind sowie Empfehlungen, wie die Werkzeuge an unterschiedlichen Maschinentypen und Bauteilen anzuwenden sind. Jedoch schließt dies die Anwendung weiterer Diagnostiktechniken nicht aus.

Es sollte beachtet werden, dass nach ISO 17359 die Diagnostik

- nach Feststellung einer Anomalie während der Überwachung als anschließende Maßnahme begonnen werden kann oder
- von Anfang an parallel zur Überwachung durchgeführt werden kann.

Das vorliegende Dokument berücksichtigt nur die erste Variante, nach der eine Diagnostik durchgeführt wird, nachdem eine Anomalie erkannt wurde. Darüber hinaus befasst sich dieses Dokument hauptsächlich mit der Anwendung von Flussdiagrammen, Prozesstabellen und Fehlertabellen als Diagnostikwerkzeuge, da davon ausgegangen wird, dass diese Werkzeuge am besten für die Nutzung durch Anwender, Ingenieure und Techniker vor Ort geeignet sind.

Die Methodik mit Flussdiagrammen und diagnostischen Prozesstabellen stellt ein strukturiertes Verfahren für eine Person vor Ort dar, um einen Fehler zu diagnostizieren und seine Ursache zu finden. Dieses schrittweise Vorgehen sollte den Anwender der Schwingungsdiagnostik bei der Suche der wahrscheinlichsten Ursache dieser Maschinenanomalie anleiten.

Die Fehlertabellen enthalten eine Auflistung der häufigsten Fehlerzustände an Maschinen sowie ihre Erscheinungsformen in den Schwingungsdaten. Werden sie gemeinsam mit den Flussdiagrammen verwendet, tragen die Tabellen zur Erkennung von Maschinenfehlern bei.

Bei der Untersuchung eines Maschinenproblems, das sich als hohes oder fehlerhaftes Schwingungssignal äußert, sollte die Diagnose des Problems gut durchdacht und systematisch durchgeführt werden. Dieses Dokument und ISO 13373-3 erfüllen diesen Zweck, indem sie der analysierenden Person Leitlinien zur Auswahl der geeigneten Messwerkzeuge, der Analysewerkzeuge und ihrer Verwendung sowie zu den

empfohlenen schrittweisen Vorgehensweisen bei der Problemdiagnose im Zusammenhang mit verschiedenen Typen von Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern an die Hand geben.

VDI 3839 Teil 4 enthält typische Schwingungsbilder in Dampf- und Gasturbinen und kann eine nützliche Orientierungshilfe darstellen.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält Leitlinien für die zu berücksichtigenden Verfahren bei der Schwingungsdiagnostik an verschiedenen Typen von Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern.

Dieses Dokument ist für die Nutzung durch Anwender, Ingenieure und Techniker bei Zustandsüberwachungen vorgesehen und umfasst eine praktische, schrittweise Vorgehensweise zur schwingungsbasierten Fehlerdiagnose. Zusätzlich sind mehrere Beispiele für eine Reihe an Maschinen- und Bauteilarten und die entsprechenden Fehlersymptome angegeben.

Die in dieser Norm dargestellte Vorgehensweise basiert auf etablierten bewährten Verfahren, die von erfahrenen Anwendern zusammengestellt wurden. Es wird jedoch anerkannt, dass es auch andere Ansätze geben kann. Die empfohlenen Maßnahmen für eine bestimmte Diagnose hängen von den Umständen im Einzelfall, der Zuverlässigkeit der Fehlerdiagnose (z. B.: Wurde dieselbe Diagnose zuvor für diese Maschine gestellt und war sie zutreffend?), der Erfahrung des Anwenders, der Fehlerart und -schwere sowie von sicherheitstechnischen und kommerziellen Erwägungen ab. Es ist weder möglich noch das Ziel dieser Norm, Maßnahmen für alle Fälle zu empfehlen.

## 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 13372, *Condition monitoring and diagnostics of machines — Vocabulary*

ISO 13373-1, *Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures*

ISO 13373-2, *Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data*

ISO 13373-3:2015, *Condition monitoring and diagnostics of machine — Vibration condition monitoring — Part 3: Guidelines for vibration diagnosis*

ISO 21940-2, *Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 2: Vocabulary*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 2041, ISO 13372 und ISO 21940-2

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/>

## 4 Messungen

### 4.1 Schwingungsmessungen

Für die Ermittlung der Schwingungsmesswerte dürfen zwei Hauptkategorien von Aufnehmern verwendet werden:

- berührungslos, z. B. werden Induktivaufnehmer, kapazitive Aufnehmer und Wirbelstromaufnehmer an rotierenden Wellen verwendet;
- seismische Aufnehmer, z. B. werden Beschleunigungs- oder Geschwindigkeitsaufnehmer an nicht rotierenden Teilen, wie etwa am Lagergehäuse, verwendet.

Zur Erleichterung der Beurteilung der in beiden beschriebenen Messverfahren ermittelten Schwingstärke gibt es Internationale Normen, insbesondere ISO 7919, ISO 10816 und ISO 20816.

Leitlinien zur Auswahl der geeigneten Internationalen Norm sind in ISO/TR 19201 enthalten.

Es ist wichtig, zu erkennen, dass für die Fehlerdiagnose das geeignete Aufnehmer-, Signalanpassungs-, Mess- und Analysesystem unter Berücksichtigung der speziellen Situationen in Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern verwendet werden sollte. In vielen Fällen ist es erforderlich, vor der Durchführung einer Messung die Schutzerdung und das elektrische Feld der Maschine in Betracht zu ziehen.

Eine Beschreibung von Aufnehmer- und Messsystemen sowie eine Festlegung von Messverfahren sind in ISO 13373-1 und ISO 13373-2 enthalten und bei der Auswahl des geeigneten Systems zu berücksichtigen.

## 4.2 Messung der Betriebsparameter der Maschine

Für eine geeignete Diagnose ist es wichtig, Betriebsparameter zu erfassen, die sich auf die Schwingungseigenschaften der Maschine auswirken können, wie z. B. Drehzahl, Last, Montagekonfiguration (starre oder elastische Stützkonstruktion) und Temperatur. Für eine bestimmte Maschine können diese Parameter mit einer Reihe von stationären und instationären (transienten) Betriebsbedingungen in Beziehung gesetzt werden.

## 5 Erstanalyse

Eine Erstanalyse sollte unter Anwendung der in ISO 13373-3:2015, Anhang A, angegebenen Leitlinien durchgeführt werden. In dieser Analyse sollten sicherheitstechnische Probleme, das Vorliegen starker Schwingungen und gegebenenfalls ihrer Schwingstärke, die Betriebshistorie, die Auswirkungen der Betriebsparameter, die Folgen versäumter Korrekturmaßnahmen und die Notwendigkeit des Abschaltens der Turbine festgestellt werden. Während der Erstanalyse sollten weitere Faktoren berücksichtigt werden, wie die Aufstellungskonfiguration, die Position im Hinblick auf weitere rotierende Maschinen, Bauwerksstruktur, Fundament der Grundplatte (Onshore oder Offshore), Umgebung usw. Siehe auch ISO 13373-3:2015, Anhang B bis Anhang D zu allgemeinen Fehlerzuständen aufgrund von fehlerhaftem Einbau und Lagerschäden.

## 6 Spezifische Analyse von Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern

Dieses Dokument umfasst Angaben zur Schwingungsdiagnose für die gebräuchlichsten Typen von Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern. Symptome der an Gas- und Dampfturbinen vorherrschenden Schäden, die überhöhte Schwingungsbeträge verursachen, sind in Anhang A angegeben, welcher anzuwenden ist. Dieser Anhang behandelt keine Turbinenschwingungen aufgrund von Problemen an hydrodynamischen Gleitlagern; diese werden in ISO 13373-3:2015, Anhang C behandelt.

Diese Vorgehensweise gilt als eines der bewährten Verfahren, die von erfahrenen Anwendern zusammengestellt wurden. Es wird jedoch anerkannt, dass es auch andere Ansätze geben kann.

Es sollte beachtet werden, dass die Schwingungsdiagnose in einigen Fällen auf mehrere Ursachen hinweisen kann. Es wird empfohlen, in diesen Fällen eine fachkundige Person zurate zu ziehen.

## 7 Bei Handlungsempfehlungen zu berücksichtigende Aspekte

Die Abhilfe- und Korrekturmaßnahmen werden durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst, darunter:

- Sicherheit,

- kommerzielle Aspekte,
- fehlerhafte Auslegung,
- Montageprobleme.

Es liegt auf der Hand, dass die geeignete(n) Maßnahme(n) für eine bestimmte Diagnose von den Umständen im Einzelfall abhängen, und es würde über den Rahmen dieses Dokuments hinausgehen, spezifische Empfehlungen auszusprechen. Dennoch ist es für Diagnosetechniker wichtig, mögliche Maßnahmen, die sich aus ihrer Diagnose ergeben, und deren Auswirkungen in Betracht zu ziehen.

Die empfohlenen Maßnahmen hängen von der Zuverlässigkeit der Fehlerdiagnose (z. B.: Wurde dieselbe Diagnose zuvor für diese Maschine gestellt und war sie zutreffend?), der Fehlerart und -schwere sowie von sicherheitstechnischen und kommerziellen Erwägungen ab. Es ist weder möglich noch das Ziel dieses Dokuments, Maßnahmen für alle Fälle zu empfehlen.

**Anhang A**  
(normativ)

**Fehlertabelle für die Schwingungsanalyse von Gas- und Dampfturbinen  
mit Gleitlagern**

Eine systematische Vorgehensweise bei der Schwingungsanalyse an Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern ist in der Fehlertabelle in Tabelle A.1 angegeben. Es sollte klar sein, dass Tabelle A.1 nicht erschöpfend ist, sondern die häufigsten Fehler im Zusammenhang mit Dampf- und Gasturbinen mit Gleitlagern enthält.

# - Entwurf -

**Tabelle A.1 — Fehlertabelle für die Schwingungsanalyse von Gas- und Dampfturbinen mit Gleitlagern**

| Fehler                                                   | Schwingungsbedingungen, unter denen Schwingungsänderungen aufgetreten                      | Anfangsänderungsgeschwindigkeit der Schwingungsamplitude | Hauptfrequenzanteil der geänderten Schwingungsamplitude | Folgeverhalten der Schwingung über die Zeit                               | Auswirkung auf die Resonanzdrehzahl                                                                                                                                    | Verhalten beim Anfahren              | Wiederholbarkeit                                                                                                | Bemerkungen                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wellenunwucht                                            | stationärer Zustand                                                                        | sofort offensichtlich                                    | 1×                                                      | gleichmäßig                                                               | keine                                                                                                                                                                  | keine Auswirkung                     | wiederholbar                                                                                                    |                                                                                                                                                     |
| Wellenunwucht – Werkstoffverlust aus rotierendem Bauteil | üblicherweise im stationären Zustand, aber auch instationär (Übergangsbedingungen) möglich | sprunghafte Änderung oder Reihe von Änderungen           | 1×                                                      | gleichmäßig nach sprunghafter Änderung                                    | Ansprechschwelle deutlich verändert                                                                                                                                    | Anstreifen in extremen Fällen hörbar |                                                                                                                 | größte Veränderungen treten in der Regel an den Lagern des betroffenen Rotors auf; Unwucht des Rotors kann auf Blatterosion zurückzuführen sein     |
| Änderung der Lagerhöhe                                   | nach instationärem Zustand (Übergangsbedingungen)                                          | langsam, außer Ölwirbel dominiert                        | vorwiegend 1×; unter 1× kann auftreten (siehe Ölwirbel) | unter stationären Bedingungen stellt sich ein neues konstantes Niveau ein | kann sich vergrößern oder verkleinern, je nachdem, ob die Lagerhöhe heraufgesetzt oder verringert wird; an benachbarten Rotoren kann der gegenteilige Effekt auftreten |                                      | Trends, aber nicht unbedingt Amplituden werden sich tendenziell nach ähnlichen Übergangsbedingungen wiederholen | Aufhebung der Übergangsbedingungen macht Schwingungsänderung nicht sofort rückgängig; steht in Beziehung zu Lagerkeildrücken und Metalltemperaturen |

# - Entwurf -

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

| Fehler                                          | Schwingungsbedingungen, unter denen Schwingungsänderungen aufgetreten                                                     | Anfangsänderungsgeschwindigkeit der Schwingungsamplitude                                            | Hauptfrequenzanteil der geänderten Schwingungsamplitude                                                      | Folgeverhalten der Schwingung über die Zeit                                                                                            | Auswirkung auf die Resonanzdrehzahl           | Verhalten beim Anfahren                                                                                                     | Wiederholbarkeit                                                                         | Bemerkungen                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| dauerhafte Biegung                              | während oder nach einem Übergang, starkem Temperaturabfall oder einer Änderung der Rotorposition in Bezug auf das Gehäuse | schnell – häufig stark                                                                              | 1×                                                                                                           | geht mit abnehmender Drehzahl zurück, außer beim Durchlaufen der Resonanzdrehzahl; stabilisiert sich bei einem neuen konstanten Niveau | Ansprechschwelle deutlich verändert           | unrunder Langsamlauf steigert sich in der Regel zu einem neuen, höheren konstanten Niveau                                   | ja                                                                                       | bei starker Biegung kuppelt der Anfahrmotor nicht ein                                                                                                                                                                        |
| vorübergehende Biegung – kein Anstreifen        | während Temperaturänderungen                                                                                              | direkt nach Temperaturänderungen; abhängig von Rotor-konstruktion                                   | 1×                                                                                                           | fällt nach Stabilisierung der Temperatur auf den vorherigen Wert zurück                                                                | Ansprechschwelle kann sich deutlich verändern | unrunder Langsamlauf fällt mit der Zeit auf das vorherige Normalniveau ab                                                   | wiederholt sich unter gleichen Betriebsbedingungen bei jedem Anlaufen                    | Beispiele: Bimetalleffekt, unterschiedliches Emissionsvermögen                                                                                                                                                               |
| vorübergehende Biegung – mit starkem Anstreifen | Drehzahl- oder Lastwechsel; Berührung zwischen stationären und rotierenden Teilen                                         | unterschiedlich; schnelle Änderung führt mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer dauerhaften Biegung | flache Stellen auf Umlaufbahnen bei 1×, können Eigenfrequenzen und möglicherweise höhere Harmonische anregen | zyklische Amplitude mit Phasendrehung oder –schwankung                                                                                 | Ansprechschwelle kann sich deutlich verändern | unrunder Langsamlauf kann direkt nach dem Auslaufen schneller sein, fällt nach einiger Zeit auf das vorherige Niveau zurück | nicht unbedingt jedes Mal wiederholbar, wenn die Übergangsbedingungen durchlaufen werden | bei Aufhebung der Drehzahl- oder Laständerung stellt sich relativ schnell das vorherige Schwingungsniveau wieder ein; Vektor rotiert mit einer Periodendauer von typischerweise 1/2 h bis 3 h, abhängig von der Konstruktion |

# - Entwurf -

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

| Fehler                             | Schwingungsbedingungen, unter denen Schwingungsänderungen aufgetreten | Anfangsänderungsgeschwindigkeit der Schwingungsamplitude | Hauptfrequenzanteil der geänderten Schwingungsamplitude                                                                                                      | Folgeverhalten der Schwingung über die Zeit                                                               | Auswirkung auf die Resonanzdrehzahl | Verhalten beim Anfahren | Wiederholbarkeit          | Bemerkungen                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Morton-Effekt, leichtes Anstreifen | Bedingungen mit konstanter Drehzahl                                   | entwickelt sich langsam                                  | 1× periodische Amplituden- und Phasenänderung; Periodenzahl hängt von der Stärke des Anstreifens ab und kann zwischen Minuten und mehreren Stunden variieren | geht typischerweise in einen Grenzyklus über; kann jedoch vorübergehend verschwinden und erneut auftreten | keine Auswirkungen                  |                         | in der Regel wiederholbar | Lichten Abstand vergrößern (z. B. durch Änderung der Rotorausrichtung), um Anstreifen zu beseitigen; alternativ, die Schwingungen und so die Auswirkungen verringern; Auswuchten kann erforderlich sein; ggf. überhängende Masse verringern; Lösung kann eine Modifizierung des Lagers umfassen |
| Ölwirbel (oder -peitsche)          | Drehzahländerung oder während der Entlastung des Lagers               | sehr schnell                                             | überwiegend etwas weniger als 1/2×, Ölpeitsche bleibt bei der ersten Resonanzfrequenz des Rotors, je nach Rotorauslegung (starr oder flexibel)               | unregelmäßig bei höherem Niveau als üblich und häufig instabil                                            | keine                               | liegt nicht vor         |                           | zum Abbau der erhöhten Schwingung ist eine deutliche Reduzierung der Drehzahl erforderlich; tritt unter gleichen Betriebsbedingungen wieder auf                                                                                                                                                 |

# - Entwurf -

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

| Fehler                                                   | Schwingungsbedingungen, unter denen Schwingungsänderungen aufgetreten                                                                                             | Anfangsänderungsgeschwindigkeit der Schwingungsamplitude | Hauptfrequenzanteil der geänderten Schwingungsamplitude                                                                                                 | Folgeverhalten der Schwingung über die Zeit                                                           | Auswirkung auf die Resonanzdrehzahl | Verhalten beim Anfahren | Wiederholbarkeit                                   | Bemerkungen                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dampfwirbel, durch Dampf erregte Schwingung              | nimmt im Dampfstrom bei Belastung zu; kann auch bei Änderung der Lagerhöhe auftreten; tritt in Hochdruck- oder Hochdruck-Zwischendruck-Dampfturbinenzylindern auf | sehr schnell                                             | subsynchron – üblicherweise bei der Frequenz der Resonanzdrehzahl des betreffenden Rotors; kann bei Konzentritätsproblemen $1 \times$ lastabhängig sein |                                                                                                       |                                     |                         | wiederholt sich bei ähnlichem Dampfstromanstieg    | Rückkehr zu einem schwächeren als dem ursprünglichen Dampfstrom macht die Schwingungsänderung sofort rückgängig; es ist jedoch zu beachten, dass oft ein Hysterese-Effekt auftritt, der eine erhebliche Reduzierung des Dampfstroms erfordert |
| rotierende Abreißströmung in Verdichtern von Gasturbinen | Durchfluss – Druckbedingungen; Strömungsabriss am Schaufelprofil                                                                                                  | heftig und sehr schnell                                  | subsynchron – keine diskrete Frequenz                                                                                                                   | Schwingungen bleiben hoch, außer bei Änderung der Drehzahl oder der Stellung der Einlassleitschaufeln |                                     |                         | wiederholt sich bei ähnlichen Strömungsbedingungen | Rückkehr zu einem geeigneten Durchfluss macht die Schwingungsänderung sofort rückgängig;                                                                                                                                                      |
| Pumpstoß im Verdichter von Gasturbinen                   | Durchfluss – Druckbedingungen; beim Stoß kommt es zum vollständigen Strömungsabriss im Verdichter                                                                 | heftig und sehr schnell                                  | subsynchron – keine diskrete Frequenz                                                                                                                   | Schwingungen bleiben hoch, außer bei Änderung der Drehzahl oder der Stellung der Einlassleitschaufeln |                                     |                         | wiederholt sich bei ähnlichen Strömungsbedingungen | Rückkehr zu einem geeigneten Durchfluss macht die Schwingungsänderung sofort rückgängig                                                                                                                                                       |

**Tabelle A.1 (fortgesetzt)**

| Fehler                                         | Schwingungsbedingungen, unter denen Schwingungsänderungen aufgetreten | Anfangsänderungsgeschwindigkeit der Schwingungsamplitude | Hauptfrequenzanteil der geänderten Schwingungsamplitude                                                                                   | Folgeverhalten der Schwingung über die Zeit | Auswirkung auf die Resonanzdrehzahl                                                                                                                                                        | Verhalten beim Anfahren                                                                                                              | Wiederholbarkeit                                    | Bemerkungen                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Differenzialkriechen an Hochtemperatur-Rotoren | Bedingungen mit konstanter Last                                       | sehr langsam (über viele Jahre)                          | 1×                                                                                                                                        | linear gegenüber der Zeit unter Last        |                                                                                                                                                                                            | über den Zeitraum, in dem sich die Schwingung ändert, ändert sich beim Anfahren der unrunde Langsamlauf und ist dabei zeitunabhängig |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Riss im Rotor                                  | Bedingungen mit konstanter Last                                       | anfänglich langsam                                       | 1× plus 2× und <i>möglicherweise höhere Harmonische</i> (abhängig von der Art des Risses); Amplitude und Phase ändern sich kontinuierlich | exponentiell gegenüber der Zeit unter Last  | Resonanzdrehzahlen können bei Drehzahländerungen sowohl durch 1× als auch durch 2× angeregt werden; Eigenfrequenz nimmt ab und teilt sich mit zunehmender Rissverlängerung in zwei Spitzen |                                                                                                                                      | Reagiert auf Auswuchten nicht wie vorher angenommen | Schwingungsänderungen im stationären Zustand können unbedeutend sein; größere Amplituden können sich beim Auslaufen durch Resonanzdrehzahlen zeigen, die zu einem beschleunigten Fortschreiten des Schadens führen; Trends der harmonischen Schwingungsanteile beobachten |

# - Entwurf -

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

| Fehler                                    | Schwingungsbedingungen, unter denen Schwingungsänderungen aufgetreten | Anfangsänderungsgeschwindigkeit der Schwingungsamplitude | Hauptfrequenzanteil der geänderten Schwingungsamplitude                                                          | Folgeverhalten der Schwingung über die Zeit             | Auswirkung auf die Resonanzdrehzahl                                                                                                               | Verhalten beim Anfahren | Wiederholbarkeit         | Bemerkungen                                                                                                   |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lager oder Lagerständer locker            | Lager oder Ständerkonstruktion locker                                 | sofort offensichtlich                                    | Kombination aus $1/2\times$ , $1\times$ plus Harmonische der Betriebsdrehzahl; ungewöhnliche Form der Umlaufbahn | Änderung bei Übergangsbedingungen, sonst gleichbleibend | Flexibilität des Lagerträgersystems kann geändert werden, wodurch sich Resonanzdrehzahl ändert                                                    |                         |                          | bei lockerem Lagerständer, Befestigungsschrauben des Lagerständers bzw. des Schlittens auf festen Sitz prüfen |
| Abnahme der Steifigkeit des Lagerständers | Bedingungen mit konstanter Last                                       | anfänglich langsam                                       |                                                                                                                  | Schwingung nimmt allmählich zu                          | geringere Steifigkeit des Lagerträgersystems führt zu einer veränderten Resonanzdrehzahl, die das dynamische Verhalten des Rotorsystems verändert |                         | kontinuierlicher Prozess | zu Messungen und Abhilfemaßnahmen siehe Anhang D                                                              |

**Tabelle A.2 — Sichtbare Anzeichen für typische Fehler**

| Fehlerart                                     | erhöhte Schwingungssignale |    |    |      | Zeitpunkt             |                       |                         |                     | Kritische Drehzahl geändert | Anfahren            |                         |                        | Ändert sich mit der Last | Wiederholbar | Bemerkungen                                                      |
|-----------------------------------------------|----------------------------|----|----|------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------|
|                                               | Unter 1×                   | 1× | 2× | > 2× | Instationärer Zustand | Plötzliches Auftreten | Kontinuierliche Zunahme | Stationärer Zustand |                             | Hörbares Anstreifen | Erhöhung im Langsamlauf | Anfahren nicht möglich |                          |              |                                                                  |
| Wellenunwucht (allgemein)                     |                            | ●  |    |      |                       | ●                     | ●                       | ●                   |                             |                     |                         |                        |                          | ●            | sofort offensichtlich                                            |
| Wellenunwucht (Werkstoffverlust)              |                            | ●  |    |      | ○                     | ●                     | ○                       | ●                   | ●                           | ○                   |                         |                        |                          |              | größte Auswirkung an den Lagern des betroffenen Rotors           |
| Änderung der Lagerhöhe                        | ○                          | ●  |    |      | ○                     | ○                     | ●                       | ●                   | ○                           |                     |                         |                        |                          | ○            | tritt nach Übergangsbedingungen auf                              |
| dauerhafte Biegung                            |                            | ●  |    |      |                       | ○                     |                         | ■                   | ●                           |                     | ■                       | ○                      |                          | ■            |                                                                  |
| vorübergehende Biegung – kein Anstreifen      |                            | ●  |    |      | ●                     | ○                     |                         |                     | ○                           |                     | ○                       |                        |                          | ○            | z. B. während Temperaturänderungen                               |
| vorübergehende Biegung – starkes Anstreifen   |                            | ●  | ○  | ○    | ●                     |                       |                         |                     | ○                           |                     | ○                       |                        |                          |              | während Drehzahl- oder Lastwechsel                               |
| Ölwirbel (oder -peitsche)                     | ●                          | ○  |    |      | ○                     | ○                     |                         |                     |                             |                     |                         |                        |                          | ○            | Peitsche sperrt Rotor bei der ersten kritischen Drehzahl         |
| Dampfwirbel/ durch Dampf angeregte Schwingung | ●                          | ○  |    |      | ○                     | ○                     |                         |                     |                             |                     |                         |                        |                          | ●            | Reduzierung der Dampfströmung löst Problem schnell               |
| rotierende Abreißströmung in Gasturbine       | ●                          |    |    |      | ●                     | ●                     |                         |                     |                             |                     |                         |                        |                          | ●            | Rückkehr zum geeigneten Durchfluss löst Problem sofort           |
| Differenzialkriechen an Rotoren               |                            | ●  |    |      |                       |                       | ●                       | ●                   |                             |                     | ●                       |                        |                          |              |                                                                  |
| Riss im Rotor                                 |                            | ●  | ○  |      |                       | ●                     | ●                       | ●                   |                             |                     |                         |                        |                          |              | kritische Drehzahl kann abnehmen und zwei Spitzenwerte aufweisen |
| Lager oder Lagerständer locker                | ●                          | ●  | ●  | ○    |                       |                       | ●                       | ●                   | ○                           |                     |                         |                        |                          |              |                                                                  |