

Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen
Schwingungs-Zustandsüberwachung
 Teil 1: Allgemeine Anleitungen
 (ISO 13373-1:2002)

DIN**ISO 13373-1**

ICS 17.160

Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures (ISO 13373-1:2002)

Surveillance des conditions et diagnostic des machines — Surveillance relative aux conditions des vibrations — Partie 1: Procédures générales (ISO 13373-1:2002)

Die Internationale Norm ISO 13373-1:2002 „Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures“ ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Nationales Vorwort

Die Übersetzung von ISO 13373-1 ist im Gemeinschaftsausschuss VDI/NALS C 16 „Schwingungsüberwachung“ des Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI ausgearbeitet worden.

Darüber hinaus werden in der Richtlinie VDI 3841 weitere und DIN ISO 13373-1 ergänzende Festlegungen zur Durchführung von Schwingungsmessungen an Maschinen getroffen. Außerdem wird auf VDI 3839 Blatt 1 zu den allgemeinen Grundlagen der Schwingungsmessung an Maschinen hingewiesen.

Zu den im Inhalt zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 1925	siehe	DIN ISO 1925
ISO 2041	siehe	E DIN 1311 Bbl. 1
ISO 5348	siehe	DIN ISO 5348
ISO 7919-1	siehe	DIN ISO 7919-1
ISO 7919-2	siehe	DIN ISO 7919-2
ISO 7919-3	siehe	DIN ISO 7919-3
ISO 7919-4	siehe	DIN ISO 7919-4
ISO 10816-1	siehe	DIN ISO 10816-1
ISO 10816-2	siehe	DIN ISO 10816-2
ISO 10816-3	siehe	DIN ISO 10816-3
ISO 10816-4	siehe	DIN ISO 10816-4
ISO 10816-6	siehe	DIN ISO 10816-6
ISO 10817-1	siehe	DIN ISO 10817-1
IEC 60034-14	siehe	DIN EN 60034-14

Fortsetzung Seite 2 bis 62

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

DIN EN 60034-14 (VDE 0530 Teil 14), *Drehende elektrische Maschinen — Teil 14: Mechanische Schwingungen von bestimmten Maschinen mit einer Achshöhe von 56 mm und höher — Messung, Bewertung und Grenzwerte der Schwingstärke (IEC 60034-14:1996); Deutsche Fassung EN 60034-14:1996.*

DIN ISO 1925, *Mechanische Schwingungen — Auswuchttechnik — Begriffe (ISO 1925:2001).*

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

DIN ISO 7919-1, *Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 7919-1:1996).*

DIN ISO 7919-2, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an rotierenden Wellen — Teil 2: Stationäre Dampfturbinen und Generatoren über 50 MW mit Nenn-Betriebsdrehzahlen von 1500 min^{-1} , 1800 min^{-1} , 3000 min^{-1} und 3600 min^{-1} (ISO 7919-2:2001).*

DIN ISO 7919-3, *Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen — Teil 3: Gekuppelte industrielle Maschinen (ISO 7919-3:1996).*

DIN ISO 7919-4, *Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen — Teil 4: Gasturbinensätze (ISO 7919-4:1996).*

DIN ISO 10816-1, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 10816-1:1995).*

DIN ISO 10816-2, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 2: Stationäre Dampfturbinen und Generatoren über 50 MW mit Nenn-Betriebsdrehzahlen von 1500 min^{-1} , 1800 min^{-1} , 3000 min^{-1} und 3600 min^{-1} (ISO 10816-2:2001).*

DIN ISO 10816-3, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 3: Industrielle Maschinen mit Nennleistungen über 15 kW und Nenndrehzahlen zwischen 120 min^{-1} und 15000 min^{-1} bei Messungen am Aufstellungsort (ISO 10816-3:1998).*

DIN ISO 10816-4, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 4: Maschinensätze mit Antrieb durch Gasturbinen mit Ausnahme von Flug-Triebwerken (ISO 10816-4:1998).*

DIN ISO 10816-6, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 6: Hubkolbenmaschinen mit Leistungen über 100 kW (ISO 10816-6:1995).*

DIN ISO 10817-1, *Messeinrichtung für die Schwingungen rotierender Wellen — Teil 1: Erfassung der relativen und der absoluten Radialschwingungen (ISO 10817-1:1998).*

VDI 3839 Blatt 1, *Hinweise zur Messung und Interpretation der Schwingungen von Maschinen — Allgemeine Grundlagen.*

VDI 3841, *Schwingungsüberwachung von Maschinen — Erforderliche Messungen.*

Deutsche Übersetzung

Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen Schwingungs-Zustandsüberwachung Teil 1: Allgemeine Anleitungen

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Schwingungs-Zustandsüberwachung	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Systemarten zur Schwingungs-Zustandsüberwachung	7
4.3 Datenerfassung.....	10
4.4 Zustandsüberwachungsprogramm	11
5 Messungen	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Schwingungsmessverfahren.....	13
5.3 Messgrößen	20
5.4 Messgenauigkeit und Wiederholbarkeit.....	22
6 Aufnehmer	23
6.1 Aufnehmerarten	23
6.2 Auswahl von Aufnehmern	23
6.3 Anbringung von Aufnehmern	27
7 Messdaten-Formate	28
7.1 Allgemeines	28
7.2 Bezugswert-Messung	29
7.3 Schwingungs-Zeittrendanalyse.....	30
7.4 Diskrete Spektralkomponenten.....	36
7.5 Analyse der Einhüllenden der hochfrequenten Schwingungsanteile	38
8 Datenanalyse und Datenaustausch	38
Anhang A (informativ) Hinweise für Messverfahren und Messorte	39
Anhang B (informativ) Typisches Messprotokoll	47
Anhang C (informativ) Häufige Ursachen von Schwingungen	49
Anhang D (informativ) Vereinbarungen zur Identifikation von Schwingungsmesspunkten	53
Literaturhinweise	61

Vorwort

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

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 3, erstellt.

Die von den Technischen Komitees verabschiedeten internationalen Norm-Entwürfe werden den Mitglieds Körperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Die Veröffentlichung als Internationale Norm erfordert Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitglieds Körperschaften.

Es besteht die Möglichkeit, dass Bestandteile dieses Teils von ISO 13373 Gegenstand von Patentrechten sind. Die ISO hat nicht die Verantwortung, das Vorhandensein einzelner oder aller dieser Patentrechte festzustellen.

Die Internationale Norm ISO 13373-1 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration and shock“, Unterkomitee SC 2 „Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures“ erstellt.

ISO 13373 besteht aus den folgenden Teilen mit dem Titel *Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Schwingungs-Zustandsüberwachung*:

- Teil 1: Allgemeine Anleitungen
- Teil 2: Datenverarbeitung, -analyse, -darstellung und allgemeine Schwingungsdiagnostik

Die Anhänge A, B, C und D dieses Teils von ISO 13373 dienen nur zur Information.

Einleitung

Das allgemeine Ziel der Schwingungs-Zustandsüberwachung von Maschinen ist es, Informationen über die Betriebsbedingungen der Maschine zu ihrem Schutz und zustandsabhängigen Instandhaltung zu gewinnen. Ein wesentlicher Teil dieses Prozesses ist die Bewertung des Schwingungszustandes der Maschine während ihrer Betriebsdauer. Der Zweck dieses Teils von ISO 13373 ist es, die Nutzung anerkannter Richtlinien für die Durchführung und Bewertung von Schwingungsmessungen zur Zustandsüberwachung zu fördern.

Im Gegensatz zur Anwendung der Schwingungsprüfung mit dem Ziele einer Diagnostik oder Abnahme gestattet die Zustandsüberwachung eine solche Datenaufnahme, welche über eine Zeitspanne verglichen werden kann und das Schwingungsverhalten mehr als jede andere Verhaltensform betont.

Änderungen im Schwingungsverhalten können durch folgende typischen Ursachen entstehen:

- Änderungen des Auswuchtzustandes,
- Änderungen der Ausrichtung,
- Verschleiß oder Schädigung von Lagerzapfen oder Wälzlagern,
- Schäden in Getrieben und Kupplungen,
- Risse in kritischen Komponenten,
- Betriebsstörungen,
- Störungen der Strömung in Wasserkraftmaschinen,
- kurzzeitige Erregungen in elektrischen Maschinen,
- Reibung,
- mechanische Lockerungen.

Die Schwingungs-Zustandsüberwachung kann Informationen zu folgenden Zwecken geben:

- Erhöhung des Anlagenschutzes,
- Verbesserung der Arbeitssicherheit von Personen,
- Verbesserung der Instandhaltungsverfahren,
- Früherkennung von Problemen,
- Havarievermeidung,
- Verlängerung der Anlagen-Einsatzdauer,
- Erhöhung der Betriebsparameter.

Schwingungsmessungen zur Zustandsüberwachung umfassen viele Formen von der einfachsten bis zur kompliziertesten und können sowohl kontinuierlich als auch periodisch erfolgen. Sie alle dienen gleichermaßen dem Ziel einer zuverlässigen Beurteilung des Maschinenzustandes. Die Geräte und Verfahren, welche in diesem Teil von ISO 13373 empfohlen werden, helfen, dieses Ziel zu erreichen.

Die in diesem Teil von ISO 13373 beschriebenen Messverfahren entsprechen den gegenwärtig üblichen Messungen mit seismischen und berührungslosen Schwingungsaufnehmern. Allerdings sind auch andere Verfahren zur Bewertung des Schwingungszustandes von Maschinen in Entwicklung. Obwohl sie zur Zeit noch nicht aufgenommen wurden, schließt dieser Teil von ISO 13373 die Anwendung solcher Messverfahren nicht aus.

Das ISO/TC 108 erarbeitet gegenwärtig neue Internationale Normen zur Maschinendiagnostik. Diese Internationalen Normen sollen Hinweise zur allgemeinen Überwachung der „Gesundheit“ von Maschinen geben und umfassen solche Faktoren wie mechanische Schwingungen, Tribologie, Schmieröl-Verschmutzung und Termografie.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 13373 enthält allgemeine Hinweise für die Messung und Datengewinnung von Maschinenschwingungen zur Zustandsdiagnostik. Er beabsichtigt, die Übereinstimmung von Messverfahren und -praktiken, welche meist auf rotierende Maschinen konzentriert sind, zu verbessern.

Aufgrund der Vielfalt der Zustandsüberwachungsverfahren werden in weiteren Teilen von ISO 13373 noch spezifische Empfehlungen für einzelne Überwachungsprogramme gegeben.

Dieser Teil von ISO 13373 gibt als grundlegendes Dokument Empfehlungen allgemeiner Natur einschließlich

- Messverfahren,
- Messgrößen,
- Aufnehmer-Auswahl,
- Auswahl der Messpunkte,
- Anbringung der Aufnehmer,
- Messdatenerfassung,
- Betriebsbedingungen der Maschine,
- Schwingungs-Überwachungssysteme,
- Systeme zur Signalaufnahme,
- Schnittstellen zu Signalverarbeitungssystemen,
- kontinuierliche Überwachung,
- periodische Überwachung.

Der Schwingungszustand von Maschinen kann sowohl durch Schwingungsmessungen an der Lager- oder Gehäusestruktur als auch durch Schwingungsmessungen an rotierenden Teilen der Maschine überwacht werden. In diesem Teil von ISO 13373 werden Hinweise zu kontinuierlichen und auch zu periodischen Schwingungsmessungen gegeben.

Es wird betont, dass sich dieser Teil von ISO 13373 nur mit der Schwingungs-Zustandsdiagnostik von Maschinen befasst. In vielen Fällen umfasst die komplette Zustandsdiagnostik aber auch andere Messungen, wie Thermografie, Ölanalyse, Ferrografie, Veränderungen der Prozessgrößen, Temperatur und Druck. Diese Messungen anderer Größen als den Schwingungen werden Gegenstand anderer Internationaler Normen sein.

Dieser Teil von ISO 13373 behandelt rotierende Maschinen. Allerdings können viele der genannten Verfahren auch für andere Maschinengruppen, wie z. B. Maschinen mit hin- und hergehenden Teilen, genutzt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil des vorliegenden Teils von ISO 13373 sind. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Anwender dieses Teils von ISO 13373 werden jedoch gebeten, die jeweils neuesten Ausgaben der nachfolgend angegebenen normativen Dokumente anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments. Mitglieder von ISO und IEC führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

ISO 1925, *Mechanical vibration — Balancing — Vocabulary*.

ISO 2041, *Vibration and shock — Vocabulary*.

ISO 7919-1, *Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurement on rotating shafts and evaluation criteria — Part 1: General guidelines*.

ISO 10816-1, *Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1: General guidelines*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teils von ISO 13373 gelten die Begriffe nach ISO 1925 und ISO 2041.

4 Schwingungs-Zustandsüberwachung

4.1 Allgemeines

Die Schwingungsüberwachung unterstützt die Beurteilung der „Gesundheit“ einer Maschine und wird bei laufendem Betrieb durchgeführt. In Abhängigkeit von der Maschinenart und den zu überwachenden kritischen Komponenten sind eine oder mehrere Messgrößen und dazu passende Überwachungssysteme auszuwählen. Das Ziel dieser Aktivität ist, einen „ungesunden“ Zustand rechtzeitig zu erkennen, sodass noch Abhilfemaßnahmen vor einer spürbaren Einschränkung der Betriebsfähigkeit einer Anlage oder der vorgesehenen Maschinen-Einsatzdauer sowie vor einem Totalausfall durch bestimmte Schäden in Maschinenteilen möglich sind und gleichzeitig eine kosteneffektive Instandhaltung realisiert wird.

Im Folgenden werden verschiedene Arten von Zustandsüberwachungssystemen beschrieben. In Abhängigkeit von der Maschine, ihrem Zustand und anderen Faktoren kann eines dieser Systeme oder auch eine Kombination von mehreren ausgewählt werden.

4.2 Systemarten zur Schwingungs-Zustandsüberwachung

4.2.1 Allgemeines

Zustandsüberwachungssysteme sind unterschiedlicher Art. Sie stützen sich auf permanent installierte, semi-permanent installierte oder mobile Messgeräte.

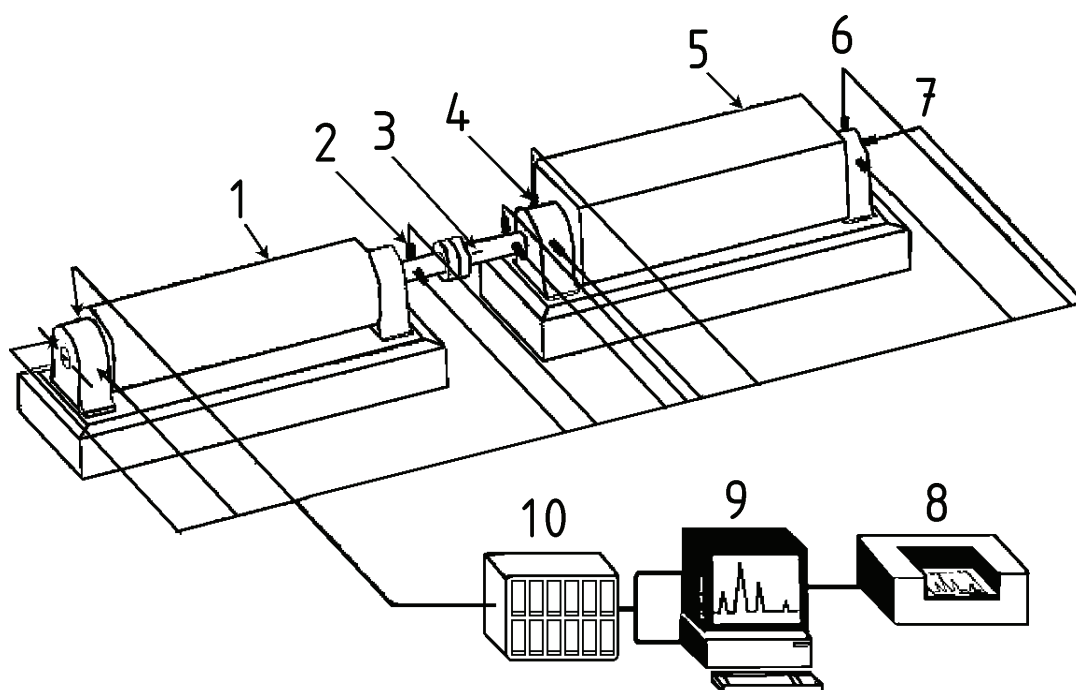
Die Auswahl eines geeigneten Messsystems hängt von mehreren Faktoren ab, z. B.

- Wie kritisch ist der Maschinenbetrieb?
- Kosten eines Maschinenausfalls,

- Kosten einer Havarie,
- Kosten der Maschine,
- Geschwindigkeit, mit welcher ein Defekt anwächst,
- Zugängigkeit für Reparatur oder Instandhaltung (z. B. in Kernkraftwerken oder an anderen entfernt liegenden Orten),
- Zugängigkeit zu den notwendigen Messpunkten,
- Beschaffenheit und Eignung des Mess- oder Diagnosesystems,
- Betriebszustand der Maschine (z. B. Drehzahl, Leistung),
- Kosten des Überwachungssystems,
- Sicherheit,
- Umweltauswirkungen.

4.2.2 Permanent installierte Systeme

Bei dieser Art von Systemen sind Aufnehmer, Signalanpassungseinheiten, Datenverarbeitungssysteme und Datenspeicher permanent installiert. Die Messdaten können entweder kontinuierlich oder periodisch aufgenommen werden. Die Anwendung permanent installierter Systeme ist meist auf teure und kritische Anlagen oder auf solche mit komplexen Anforderungen an die Überwachung beschränkt. Bild 1 zeigt ein typisches permanent installiertes On-line-System.



Legende

- | | |
|--|------------------------------|
| 1 Antriebsmaschine | 6 Radial |
| 2 Wellenschwingungsaufnehmer (Beispiel) | 7 Axial |
| 3 Phasenwinkel-Markierung | 8 Drucker |
| 4 Aufnehmer an der stationären Maschinenstruktur eines Lagers (Beispiel) | 9 Computer mit Datenspeicher |
| 5 Arbeitsmaschine | 10 Signalanpassungseinheit |

ANMERKUNG Dieses Bild zeigt eine typische Geräteanordnung. Andere Systeme sind ebenfalls zulässig (z. B. ist bei mikroprozessorgestützten Systemen die Signalanpassung häufig integriert und kann auch nach der A/D-Wandlung erfolgen).

Bild 1 — Typisches permanent installiertes On-line-System zur Schwingungs-Zustandsüberwachung^{N1)}

4.2.3 Semi-permanent installierte Systeme

Das semi-permanente System ist eine Mischung aus permanenten und mobilen Systemen. Bei dieser Systemart sind in der Regel die Aufnehmer permanent installiert, während die elektronischen Datenaufnahme-Geräte nur intermittierend angeschlossen werden.

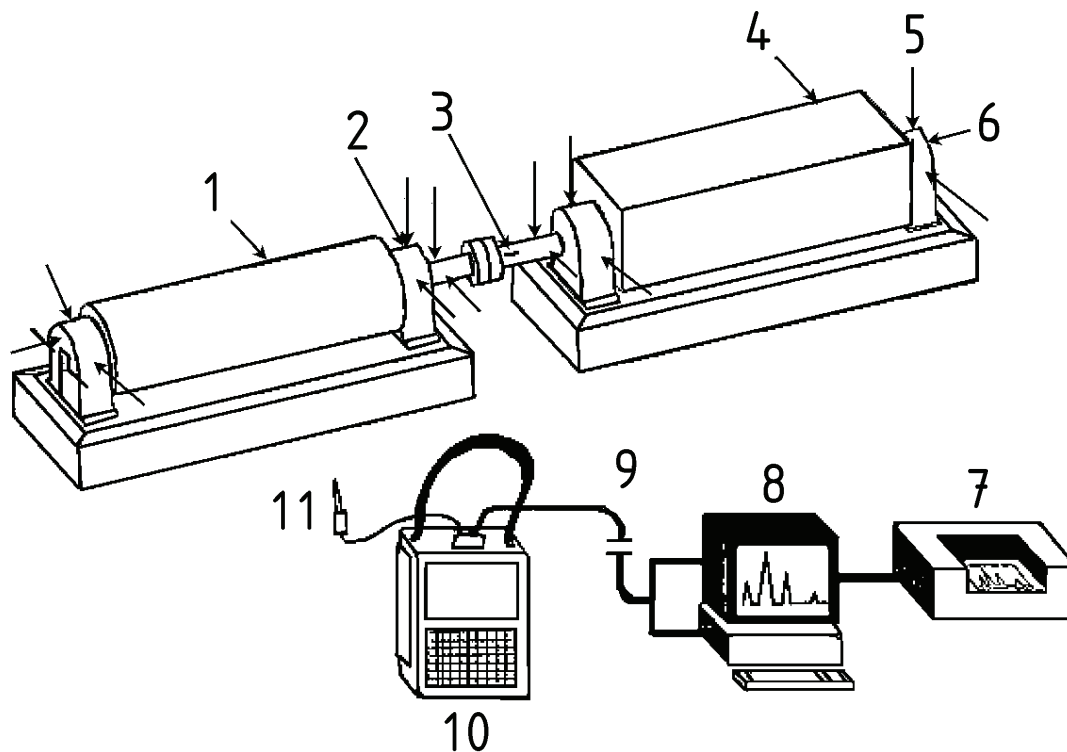
4.2.4 Mobile Systeme

Ein mobiles Überwachungssystem hat die gleichen Funktionen wie das „kontinuierliche“ On-line-System, aber es ist weniger kompliziert und in der Regel auch billiger. Bei seiner Anwendung werden die Messdaten mittels eines mobilen Datensammlers periodisch aufgenommen. Die Messungen können automatisch oder manuell gesteuert werden. Bild 2 zeigt diese Systemart.

Allgemeiner ausgedrückt: Mobile Überwachungssysteme werden eingesetzt, um Messdaten an vorausbestimmten Messpunkten von Maschinen in periodischen Intervallen (wöchentlich, monatlich usw.) manuell zu registrieren. Diese Messdaten werden gewöhnlich von einem mobilen Datensammler vor Ort aufgenommen und gespeichert. Eine vorläufige und überschlägige Auswertung kann dabei sofort erfolgen. Für

N1) Nationale Fußnote: Dieses System ist nicht typisch. In der Praxis wird sehr selten die Lager- und die Wellenschwingung gleichzeitig gemessen.

eine detaillierte Datenverarbeitung und -analyse müssen die Messdaten aber auf einen Personalcomputer übertragen werden, der mit der erforderlichen Software ausgerüstet ist.



Legende

- | | | | |
|---|-------------------------|----|----------------------------|
| 1 | Antriebsmaschine | 7 | Drucker |
| 2 | Messpunkt (Beispiel) | 8 | Computer mit Datenspeicher |
| 3 | Phasenwinkel-Markierung | 9 | Verbindung zum Computer |
| 4 | Arbeitsmaschine | 10 | mobiler Datensammler |
| 5 | Radial | 11 | Aufnehmer |
| 6 | Axial | | |

Bild 2 — Typisches mobiles Überwachungssystem

4.3 Datenerfassung

4.3.1 Allgemeines

Messdaten können entweder kontinuierlich oder periodisch erfasst werden. Die Datenanalyse kann entweder ereignisgesteuert oder intervallgesteuert erfolgen.

4.3.2 Kontinuierliche Datenerfassung

Bei Systemen zur kontinuierlichen Datenaufnahme sind die Schwingungsaufnehmer an den Haupt-Messpunkten der Maschine permanent installiert (siehe Bild 1). Die Schwingungs-Messsignale werden üblicherweise kontinuierlich aufgenommen und gespeichert, ohne dass der Maschinenbetrieb unterbrochen wird. Dazu gehören auch solche automatischen Schwingungsüberwachungssysteme mit Multiplexer-Verbindung, deren Multiplex-Rate hoch genug ist, dass keine wichtigen Messdaten oder Trends verloren gehen. Die Daten müssen so verarbeitet werden, dass entweder Breitband- oder spektrale Informationen gewonnen und mit vorher aufgenommenen Daten verglichen werden können. Durch Festlegung von „Alarmgrenzen“ ist es möglich, anhand der gespeicherten Daten festzustellen, ob sich die Schwingungserscheinung geändert hat (die Stärke der Schwingung ist entweder angewachsen oder gesunken), das Bedienpersonal entsprechend zu informieren und die Auslösung einer Diagnose zu empfehlen.

Ein System zur kontinuierlichen Datenerfassung kann entweder direkt in der Nähe der Maschine installiert und dort vom Bedienpersonal genutzt werden, oder die Messdaten können von entfernt liegenden Orten

zur weiteren Verarbeitung in eine Auswertezentrale übertragen werden. Der offensichtliche Vorteil des „kontinuierlichen“ Systems ist die ständig verfügbare On-line-Information über den Maschinenzustand in Echtzeit.

Bei einem automatischen System sind die Schwingungsaufnehmer in der gleichen Weise permanent installiert wie bei einem kontinuierlichen Überwachungssystem. Das System ist so programmiert, dass es automatisch Messdaten aufzeichnet und speichert. Die zuletzt gespeicherten Daten werden mit vorher gespeicherten verglichen, um zu bestimmen, ob ein ALARM-Zustand vorliegt.

Die Entscheidung, ob ein System zur kontinuierlichen Datenerfassung gewählt wird, sollte erst nach Abwägung der in 4.2.1 genannten Faktoren getroffen werden.

4.3.3 Periodische Datenerfassung

Eine periodische Datenerfassung kann sowohl bei Verwendung eines permanent installierten On-line-Systems als auch mittels eines mobilen Systems erfolgen. Periodische On-line-Systeme können automatische Schwingungsüberwachungssysteme mit Multiplexer-Verbindung besitzen. In diesem Falle werden die einzelnen Kanäle zyklisch nacheinander abgefragt, um Grenzwertüberschreitungen zu detektieren. Das Messsystem ist dabei ständig in Aktion, es existieren aber Unterbrechungen bei der Überwachung der einzelnen Messpunkte, welche von der Anzahl der zu überwachenden Kanäle und der Messdauer je Kanal abhängen. Diese Systeme werden gelegentlich auch als „Scanningsysteme“ oder „intermittierend wirkende Systeme“ bezeichnet.

Bei Maschinen, die kein permanent installiertes On-line-System rechtfertigen, werden in der Regel mobile Systeme verwendet; sie sind in den meisten Fällen auch für die periodische Überwachung geeignet.

4.4 Zustandsüberwachungsprogramm

Es wird empfohlen, nach der Auswahl der zu überwachenden Anlage und der Festlegung einer geeigneten Messsystemart ein Flussdiagramm für das Zustandsüberwachungsprogramm zu entwerfen. Bild 3 zeigt ein solches typisches Flussdiagramm. Da jede Anlage und jedes System aber individuelle Eigenschaften besitzt, sollte der Datenfluss jeweils individuell angepasst werden, um einen möglichst hohen Nutzen zu erzielen.

Gleichzeitig mit der Erfassung von Schwingungsdaten sollten auch die aktuellen Betriebsbedingungen, wie Drehzahl, Belastung oder Temperatur, klar beschrieben werden. Mindestens sollten die Betriebsparameter, welche die gemessenen Schwingungen beeinflussen können, beschrieben werden. Das sind insbesondere die Wellendrehzahl (in min^{-1}) und die Maschinenbelastung (Leistung, Durchfluss, Druck usw.).

Es muss streng darauf geachtet werden, dass im Allgemeinen die Betriebsbedingungen während der Messdatenaufnahme den Normal-Betriebsbedingungen so weit wie möglich entsprechen. Dadurch wird eine Übereinstimmung und zuverlässige Vergleichbarkeit der Daten sichergestellt. Wenn das nicht möglich ist, müssen die Eigenschaften der Maschine so gut bekannt sein, dass damit Abweichungen der Daten bewertet werden können.

Da die Zustandsüberwachung auch die Analyse des Zeittrends umfasst (dadurch wird die Änderung der Schwingungsparameter während der Betriebsdauer untersucht), ist es besonders wichtig, dass die Betriebsbedingungen während der aufeinander folgenden Messungen unverändert bleiben. Nur dadurch ist der festgestellte Zeittrend gültig. Beispielsweise können bei Pumpen die Schwingungsparameter bei „normalen“ und „anormalen“ Belastungen erhebliche Unterschiede aufweisen. Dabei können Änderungen der Schwingungen aufgrund wechselnder Betriebsbedingungen fälschlicherweise als Anzeichen eines bevorstehenden Problems interpretiert werden.

Die Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Datenaufnahmen müssen allerdings nicht konstant sein. Wie in 7.3 noch erklärt wird, können sie in Abhängigkeit des aktuellen Maschinenzustands gewählt werden.

In Abhängigkeit der Komplexität der Maschine oder des Ziels der Messung kann es auch notwendig sein, Messdaten bei geänderten Betriebsbedingungen aufzunehmen. Werden z. B. Probleme erwartet, welche von Unwucht, Anstreifen (rub), Wellenriss oder Ölwhirl herrühren können, werden Messungen bei transienten Betriebsbedingungen, wie Anlauf und Auslauf, empfohlen.

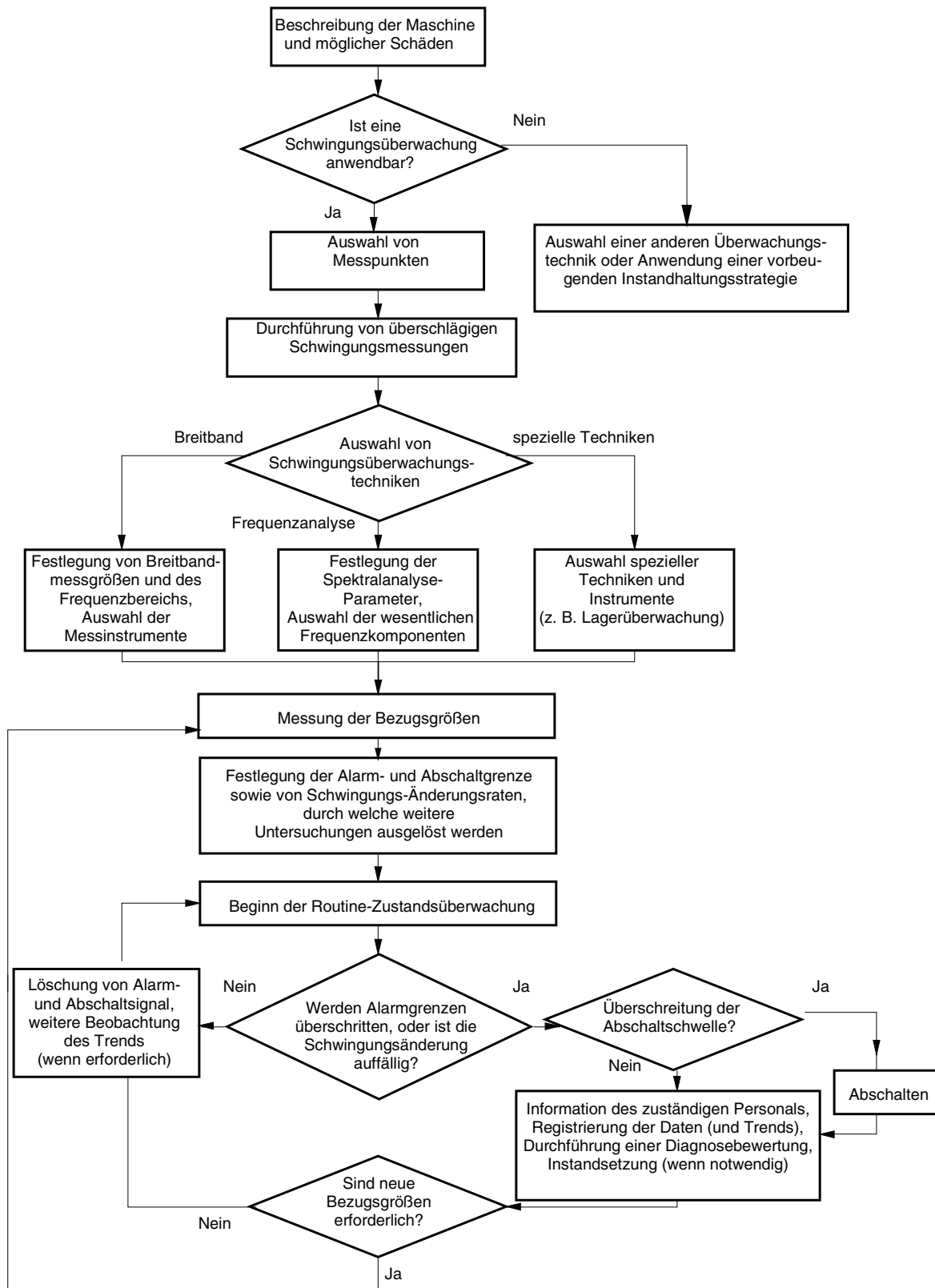


Bild 3 — Flussdiagramm für die Schwingungs-Zustandsüberwachung

5 Messungen

5.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt gibt Informationen über die Art der Messungen und der Messgrößen, welche für die Schwingungs-Zustandsüberwachung empfohlen werden. Anhang B enthält die typischerweise erforderlichen Informationen, welche für jede Maschine und jede Messung festzuhalten sind.

5.2 Schwingungsmessverfahren

5.2.1 Allgemeine Betrachtungen

Grundsätzlich gibt es folgende drei allgemeine Schwingungsmessverfahren, welche für die Schwingungs-Zustandsüberwachung von Maschinen ausgeführt werden können:

- a) Schwingungsmessungen an nicht-rotierenden Maschinenteilen, wie z. B. an Lagergehäusen, an Maschinengehäusen oder an Grundplatten;
- b) Messung der Relativbewegung zwischen dem Rotor und den feststehenden Lagern oder dem Gehäuse;
- c) Messung der Absolutschwingung der rotierenden Teile.

Als Ergebnis von Schwingungsmessungen an nicht-rotierenden Strukturen wird in der Regel der Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit, häufig in Kombination mit dem Effektivwert des Schwingweges oder der Schwingbeschleunigung, angegeben (siehe ISO 10816-1). Wenn die dominierende Schwingung harmonisch ist, kann auch der Schwingweg benutzt werden (Mittelwert-Spitze oder Spitze-Spitze).

Bei schnelllaufenden Maschinen und Getrieben, insbesondere mit Wälzlagern, wird zum Zwecke der Zustandsüberwachung häufig der Spitzenwert der Schwingbeschleunigung mit dem Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit kombiniert. Daneben werden in zunehmendem Maße andere, aufwendigere Verfahren angewandt, die weitere im Schwingungssignal enthaltene Informationen auswerten.

Der absolute und der relative Schwingungsausschlag rotierender Bauteile werden durch verschiedene Schwingweg-Größen ausgedrückt, welche bereits häufig gebraucht werden und in ISO 7919-1 definiert sind. Diese sind:

- $S_{\max}$ Maximalwert des Wellenschwingungs-Ausschlages, bezogen auf die zeitliche Mittellage,
- S_{p-p} Spitze-Spitze-Schwingungsausschlag in Messrichtung.

Jede dieser Schwingweg-Messgrößen kann für die Messung der Wellenschwingung benutzt werden. Allerdings muss die verwendete Messgröße eindeutig benannt werden, um eine korrekte Interpretation der Messergebnisse zu ermöglichen.

Es sollte beachtet werden, dass sich die Normen der Reihen ISO 7919 und ISO 10816 nur auf breitbandige Messungen beziehen. Zur Zustandsüberwachung sind allerdings noch weitere Schwingungsmessungen und Signalanalysen erforderlich, wie z. B.

- Spektralanalyse,
- Filterung,
- Wellenform im Zeitbereich und Orbits,
- Analyse des Schwingungsvektors (komplexer Schwingungszeiger) nach Betrag und Phase,
- Analyse der Einhüllenden der hochfrequenten Schwingungsanteile.

5.2.2 Messorte

Die Lage der Schwingungsaufnehmer bei der Zustandsüberwachung hängt von der jeweiligen Maschine und der zu überwachenden Messgröße ab. Bevor der Messort festgelegt wird, muss deshalb erst festgelegt werden, welche Messgröße zu überwachen ist, z. B.

- die Absolutschwingung des Maschinengehäuses,
- die Schwingbewegung des Rotors relativ zum Gehäuse,
- die Wellenlage während des Betriebes relativ zum Gehäuse,
- die Absolutbewegung der Welle.

Im Allgemeinen sollten die Aufnehmer an oder nahe den Lagern angeordnet werden. Wenn entsprechende Erfahrung für die spezielle Maschinenart vorhanden ist und eine solche Aufnehmerposition praktisch erscheint, können die Aufnehmer auch an anderen Messorten als an den Lagern angeordnet werden, und zwar:

- a) an Messorten, an welchen mit größter Wahrscheinlichkeit die maximale Schwingung auftritt (z. B. in der Mitte zwischen den Lagern großer Gasturbinen);
- b) an Messorten, an welchen zwischen den rotierenden mit den feststehenden Maschinenteilen nur geringes Spiel besteht und daher Anstreifen möglich ist.

Welche Ebene für die Schwingungsmessungen auch immer gewählt wird, die Aufnehmer sollten in den Winkellagen angeordnet werden, welche für eine Früherkennung von Verschleiß oder Ausfall am geeignetsten sind.

5.2.3 Messorte an typischen Maschinen

Anhang A enthält eine Tabelle, welche empfohlene Messorte für verschiedene Maschinenarten zeigt, an denen aussagefähige Schwingungssignale gewonnen werden können.

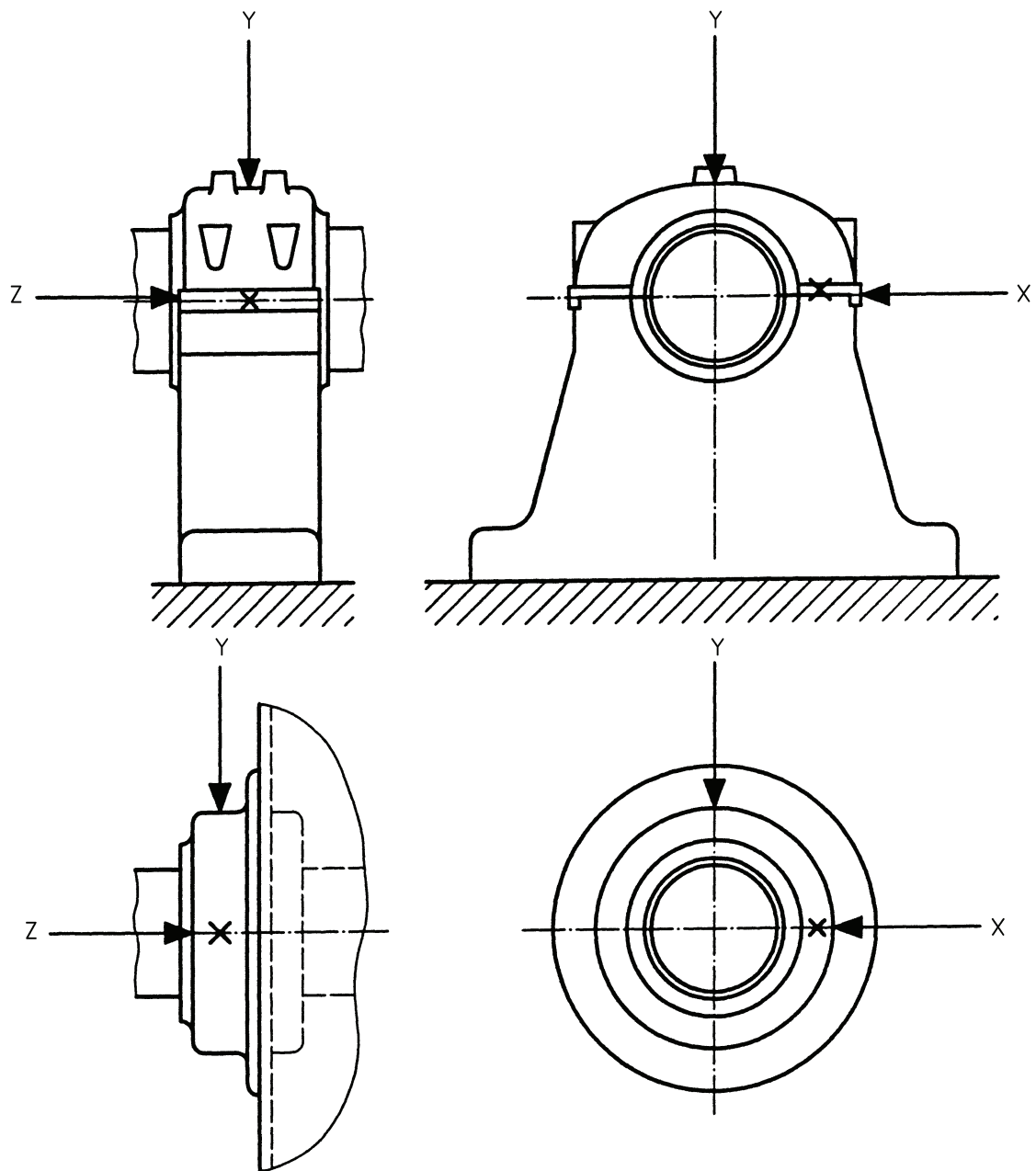
5.2.4 Messrichtungen und Aufnehmer-Identifikation

Die einzelnen Messpunkte sollten deutlich markiert und gekennzeichnet werden, um eine Übereinstimmung der Position bei nachfolgenden Messungen sicherzustellen. Es ist wichtig, ein exaktes Verzeichnis der Messungen und zugehörigen Messpunkte zu erstellen. Anhang D zeigt ein Beispiel für eine typische Vereinbarung zur Ausrichtung und Identifikation der Aufnehmer.

5.2.5 Messungen an nicht-rotierenden Strukturen

Die Normen der Reihe ISO 10816 enthalten spezifische Verfahren und Instrumentierungen zur Messung an verschiedenen Klassen von Maschinen und legen den Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit (in Millimeter je Sekunde) als bevorzugte Beurteilungsgröße fest. Die Messung kann entweder unmittelbar mit einem Schwinggeschwindigkeits-Aufnehmer oder mit einem Beschleunigungsaufnehmer mit nachgeschaltetem Integrationsschaltkreis erfolgen.

Typische Messpunkte für diese Messungen befinden sich bei Maschinen mit horizontalem Rotor an jedem Lagergehäuse oder Lagerbock, wie in Bild 4 dargestellt ist. Für Maschinen mit vertikalem Rotor siehe Bild 5.



X horizontal
Y vertikal
Z axial

Bild 4 — Schematische Darstellung typischer Messpunkte für Schwingungsmessungen an Maschinen mit horizontalem Rotor

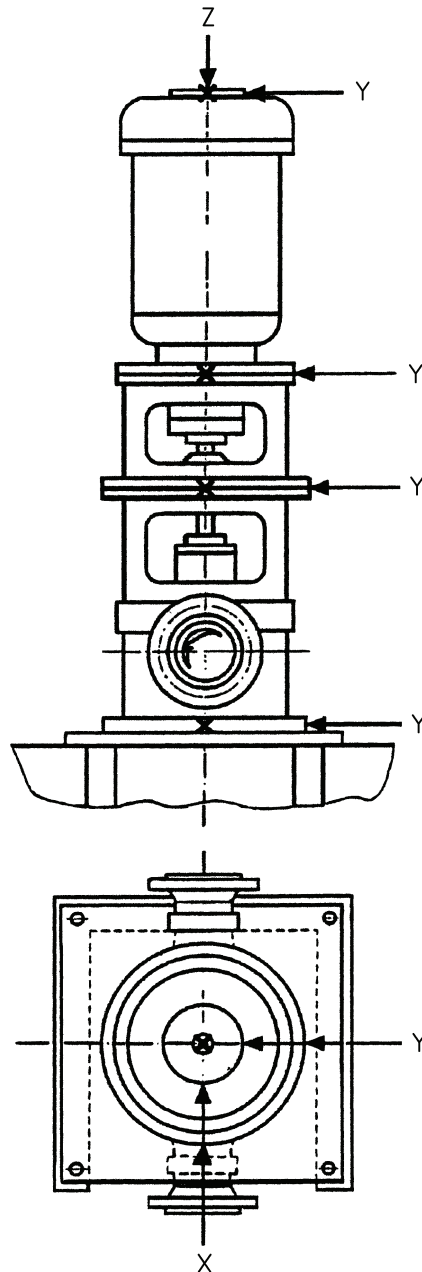


Bild 5 — Schematische Darstellung typischer Messpunkte für Schwingungsmessungen an Maschinen mit vertikalem Rotor

5.2.6 Messungen an rotierenden Wellen

5.2.6.1 Allgemeines

Wie in ISO 7919-1 festgelegt, ist die bevorzugte Messgröße für die Wellenschwingung der Schwingweg. Die folgenden Unterabschnitte beschreiben verschiedene Aufnehmer zur Messung an der Welle sowie ihre Anbringung. In den Bildern werden auch Hinweise zur örtlichen Messsignalanpassung und -verarbeitung gegeben. 5.2.8 enthält Aussagen zur Messsignalanpassung.

ANMERKUNG Zu Einzelheiten zur Signalverarbeitung, -analyse und Darstellung von Messdaten wird auf ISO 13373-2 verwiesen, die sich derzeit in Vorbereitung befindet.

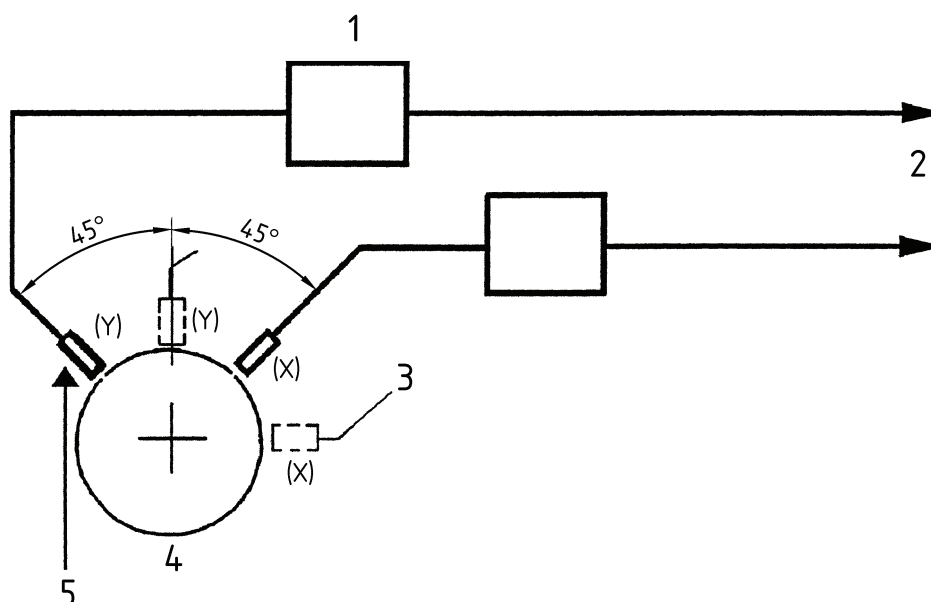
5.2.6.2 Relativbewegung zwischen Welle und Gehäuse

Die Normen der Reihe ISO 7919 enthalten spezifische Verfahren und Ausrüstungen für die Messung breitbandiger Schwingungen rotierender Wellen für verschiedene Maschinenklassen.

Der relative Schwingweg wird am besten mittels zweier berührungsloser Aufnehmer gemessen, welche zur Messung der Relativbewegung zwischen der rotierenden Welle oder einem anderen Element und dem feststehenden Bauteil in derselben Radialebene angebracht sind. Bild 6 zeigt die typische Anordnung eines solchen berührungslosen Aufnehmerpaares.

An jedem Lager sind die beiden Aufnehmer zueinander rechtwinklig entweder im Lager oder so nahe zum Lagergehäuse wie möglich zu befestigen. Es gibt aber auch Fälle, so z. B. bei Maschinen mit biegeelastischer Welle, in denen es ratsam ist, die Aufnehmer nicht an den Lagern, sondern an einer anderen Stelle anzubringen.

Auf alle Fälle müssen die Aufnehmer so angebracht werden, dass sie auf die dynamischen Maschinenkräfte angemessen empfindlich reagieren. Obwohl die beiden Aufnehmer unter jedem beliebigen Winkel angebracht werden können, ist es üblich, sie entweder vertikal und horizontal oder unter einem Winkel von $\pm 45^\circ$ gegenüber der vertikalen und horizontalen Achse anzuordnen, soweit es der Zugang zur Welle erlaubt. Ein einzelner Aufnehmer genügt, um sich ausreichende Informationen über die Maschine zu beschaffen. Allerdings sind dann einige Signalanalysetechniken nicht realisierbar, wie z. B. die Orbit-Analyse und die Bildung von $S_{\max}$.



Legende

- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---------------------------|
| 1 | örtliche Signalanpassung | 4 | Welle |
| 2 | zur Signalverarbeitung | 5 | berührungsloser Aufnehmer |
| 3 | optionale Messrichtung der Aufnehmer | | |

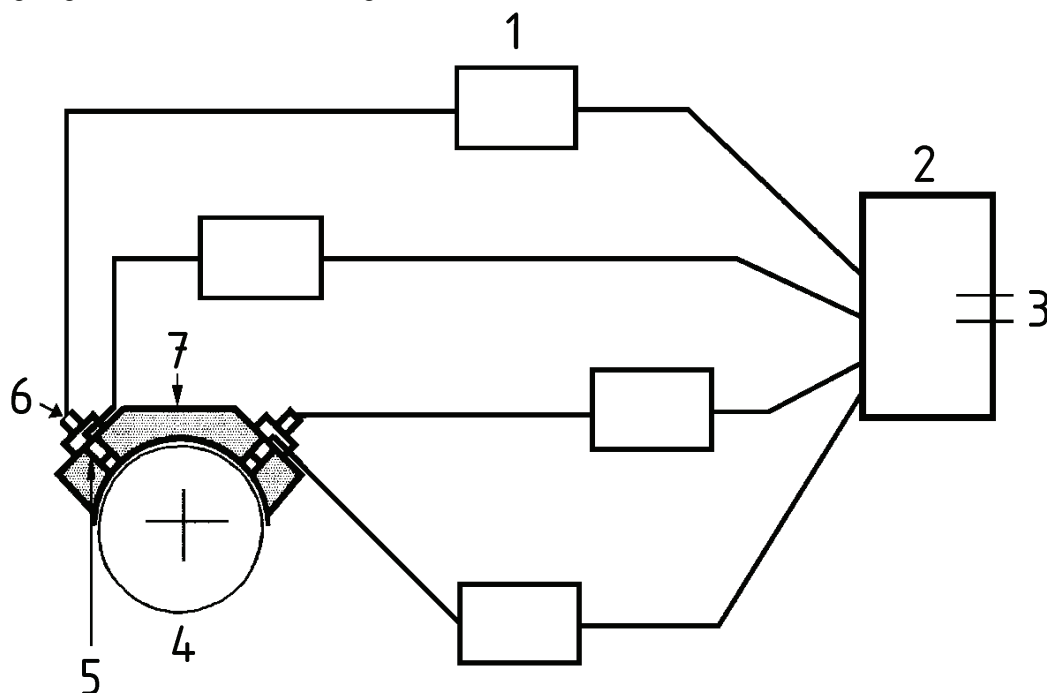
Bild 6 — Schematische Darstellung der Messung der Relativbewegung mittels berührungsloser Aufnehmer

5.2.6.3 Absolutbewegung der Welle

Bei einigen Maschinen, insbesondere bei solchen, welche weiche Rotorlager oder biegeelastische Wellen besitzen, und bei solchen, die mit Drehfrequenzen in der Nähe der Rotor-Eigenfrequenzen arbeiten, kann die Messung der Absolutschwingung der Welle erforderlich sein.

Die Bilder 7 und 8 zeigen Beispiele für Messsysteme zur Ermittlung der Absolutbewegung der Welle. Das bevorzugte Verfahren ist die Kombination von berührungslosen und seismischen Aufnehmern, wie in Bild 7 dargestellt. Da die auf der Welle gleitenden Aufnehmer (siehe Bild 8) durchaus auch in einigen Fällen

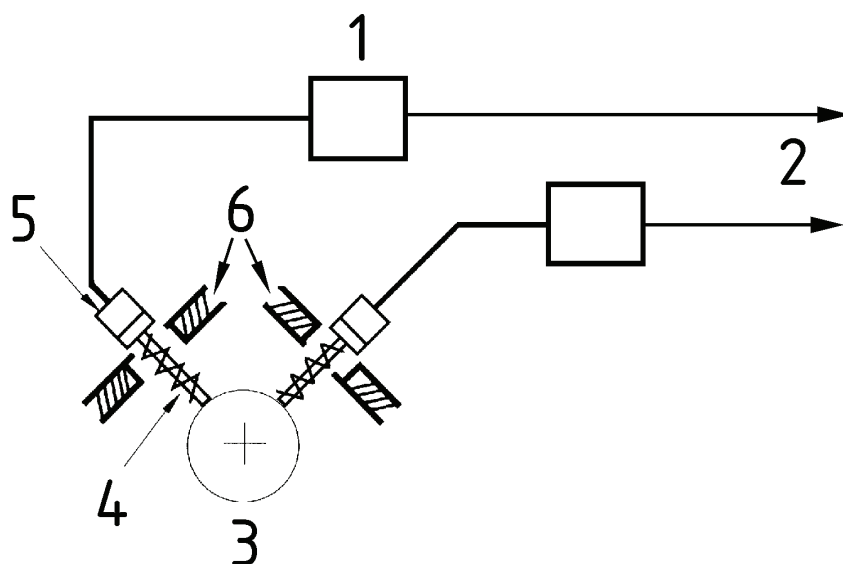
angewendet werden, sollte ihr beschränkter Einsatz-Frequenzbereich beachtet werden. Außerdem sind sie nicht geeignet, die radiale Wellenlage zu messen.



Legende

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1 örtliche Signalanpassung | 4 Welle |
| 2 Signal-Fernanzeige | 5 berührungsloser Aufnehmer |
| 3 optionaler Ausgang für Geräte zur Registrierung von Alarm- und Abschaltsignalen und/oder zur Datenanalyse | 6 seismischer Aufnehmer |
| | 7 Maschinenkörper |

Bild 7 — Schematische Darstellung der Messung von Absolut- und Relativbewegung mittels einer Kombination von berührungslosen und seismischen Aufnehmern



Legende

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1 örtliche Signalanpassung | 4 Gleitmechanismus |
| 2 zur Signalverarbeitung | 5 seismischer Aufnehmer |
| 3 Welle | 6 Maschinenkörper |

Bild 8 — Schematische Darstellung der Messung der Absolutbewegung mittels eines auf der Welle gleitenden Mechanismus mit seismischem Aufnehmer

5.2.7 Torsionsschwingungen

Routinemessungen von Torsionsschwingungen an rotierenden Maschinen sind gegenwärtig noch unüblich. Sie können aber in Zukunft insbesondere für die Überwachung von Maschinen, welche von Wechselstrom-Frequenzwandlern gespeist werden, häufiger genutzt werden. Bisher wurden sie in einer begrenzten Anzahl von Elektrizitätswerken eingesetzt, um ein besseres Verständnis von den Wechselbeziehungen zwischen der Torsionsdynamik großer Dampfturbinen-Generatorsätze und den elektrischen Oszillationen in den elektrischen Übertragungsnetzen zu gewinnen. Das umfasst auch die Überwachung von der Torsionsantwort des Turbinen-Generator-Wellenstrangs sowohl auf transiente Störungen im Netz (z. B. Schäden und Kurzschlüsse) als auch auf stationäre Anregungen aus dem Netz (z. B. unsymmetrische Übertragungsstrecken). Die Überwachungssysteme dafür sind sehr speziell und können sehr teuer sein. Sie erfordern eine Schnittstelle zu einem Computer für die Messsignalverarbeitung, um aus den an unterschiedlichen Messpunkten am Turbinen-Generator-Wellenstrang aufgenommenen Messdaten den Ermüdungsschadens-Fortschritt an den kritischsten Punkten der Maschine abschätzen zu können (siehe auch Abschnitt C.3).

Wenn Torsionsschwingungsmessungen erforderlich sind, wird meist die Winkelgeschwindigkeits-Änderung der Maschine an ausgewählten Messpunkten gemessen. Gewöhnlich werden folgende Messsysteme eingesetzt:

- Torsiographen, welche am freien Wellenende angebracht sind und die Winkelgeschwindigkeit messen. Das Schwinggeschwindigkeitssignal kann elektronisch integriert werden, um das Torsionswinkelsignal zu erhalten.
- Zahnscheiben am freien Wellenende oder in Wellenmitte in Verbindung mit einem elektromagnetischen Aufnehmer, welcher an der stationären Struktur befestigt ist. Der Aufnehmer liefert ein Signal, welches der momentanen Umfangsgeschwindigkeit der abgetasteten Zahnscheibe entspricht. Dieses Signal wird in der Regel in ein drehwinkelproportionales Signal umgeformt.
- Scheiben mit radial angebrachten Code-Marken, welche am freien Wellenende oder in Wellenmitte befestigt sind. Sie werden durch optische Aufnehmer abgetastet, die ein Signal liefern, welches den momentanen Drehgeschwindigkeits- und Phasenänderungen proportional ist. Dieses Signal wird in der Regel in ein drehwinkelproportionales Signal umgeformt.
- Auf der Welle angebrachte Dehnungsmessstreifen, welche unmittelbar die Schwingungsanteile der Torsionsverformung messen.
- Laser-Systeme.

Unabhängig vom eingesetzten Messgerät ist eine mathematische Umrechnung nötig, um die an ausgewählten Messpunkten gewonnenen Informationen in die Reaktionen anderer interessierender Punkte umzuformen. Die Umrechnung der gemessenen mechanischen Größen in Beanspruchungs- und Ermüdungsreaktionen ist aber sehr komplex und erfordert die Anwendung komplizierter analytischer Verfahren.

ANMERKUNG Die Analyse der Torsionsschwingungen und die dazu nutzbaren Hardware- und Software-Systeme sind in der Literatur gut beschrieben und werden in diesem Teil von ISO 13373 nicht weiter behandelt.

5.2.8 Systeme zur Signalanpassung

Die von den Schwingungsaufnehmern gelieferten Messsignale erfordern in der Regel einige Stufen der Anpassung, um zu auswertbaren Signalen zu werden. Die Signalanpassung kann die Umformung des Aufnehmer-Ausgangssignals in einen Strom oder eine Spannung messbarer Größe ebenso umfassen wie die Aufbereitung des Signals in eine für die weitere Verarbeitung erforderliche Signalform.

Allgemeine Beispiele für Anpassungsprozeduren sind Verstärkung und Dämpfung, Filterung, Skalierung, Addition mit einem Gleichspannungssignal (Offset) und Integration.

Aufgrund der Komplexität der Messsysteme können die erforderlichen Signalanpassungssysteme folgende Formen annehmen:

- integraler Teil des Aufnehmers,